

METODOLOGÍA PARA EL MODELAMIENTO DEL SISTEMA DE POTENCIA EN EL  
SIMULADOR DE ENTRENAMIENTO DE OPERADORES (OTS) DEL SISTEMA SCADA  
MONARCH.

ALEXANDRA VALENCIA CASTAÑO

COD. 1088325552

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

PEREIRA

ENERO 2018

METODOLOGÍA PARA EL MODELAMIENTO DEL SISTEMA DE POTENCIA EN EL  
SIMULADOR DE ENTRENAMIENTO DE OPERADORES (OTS) DEL SISTEMA SCADA  
MONARCH.

ALEXANDRA VALENCIA CASTAÑO

COD. 1088325552

PROYECTO DE GRADO EN MODALIDAD DE PRACTICA CONDUCENTE  
PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERA  
ELECTRICISTA

Director:

M Sc. ALEXANDER MOLINA CABRERA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

PEREIRA

ENERO 2018

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto a mis padres por su esfuerzo y valentía al luchar día a día para brindar lo mejor a su familia, por sus sacrificios que con la ayuda de Dios serán recompensados, por su apoyo en todo momento de mi vida; a ellos todo mi amor y gratitud.

A mi hermana quien ha sido mi amiga y compañera en cada etapa, quien con una sonrisa o una frase alegra mi vida, de la cual me siento muy orgullosa y sé que le esperan grandes cosas.

A mi novio su paciencia fuerza, dedicación y entrega, con su apoyo y ayuda, los momentos difíciles se hacen más llevaderos.

Finalmente, Agradezco a mi coordinador de práctica de INTERCOLOMBIA y mi director de práctica en la Universidad Tecnológica de Pereira, quienes, a pesar de las dificultades se mostraron siempre abiertos a compartir su conocimiento, tiempo y apoyo durante todo el proceso para una feliz culminación de mi pregrado.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	6
<b>2. METODOLOGÍA</b>	9
2.1. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA MODELADO DE EQUIPOS EN OpenNet Y OpenOTS	9
2.2. RED OBSERVABLE Y SIMULADA DE OpenNET Y OpenOTS	13
<b>3. DESARROLLO</b>	14
3.1. DEFINICIONES	14
3.2. ACTUALIZACIÓN DE LA BASE DE DATOS DE OpenNet	17
3.2.1. INGRESO A LA INTERFAZ DE USUARIO DE SCADA	17
3.2.2. SUBESTACIÓN	19
3.2.3. SBUS	20
3.2.4. BREAKER	22
3.2.5. BRANCH	25
3.2.6. XFORMER	36
3.2.7. LOAD	37
3.2.8. GENER	38
3.2.9. SHUNT	40
3.3. ACTUALIZACIÓN DE DIAGRAMA UNIFILAR	41
3.3.1. BARRA	43
3.3.2. LÍNEA	43
3.3.3. CABLE	43
3.3.4. INTERRUPTOR Y SECCIONADOR	43
3.3.5. TIERRAS	44

3.3.6.	TRANSFORMADORES Y AUTOTRANSFORMADORES.....	44
3.3.7.	MEDIDA ANÁLOGA DE POTENCIA ACTIVA, POTENCIA REACTIVA, CORRIENTE Y TENSIÓN.....	44
3.3.8.	COMPENSADORES.....	45
3.4.	VERIFICACIÓN FUNCIONAMIENTO OpenNet.....	45
3.5.	REVISIÓN DE SIMULACIONES Y ESTADO DE LA RED.....	51
3.6.	COPIA DE LA BASE DE DATOS DE OpenNet A OpenOTS .....	54
<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>55</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>56</b>
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>58</b>
<b>7.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>59</b>
7.1.	EJEMPLOS .....	59
7.1.1.	NOMBRAR BARRAS.....	59
7.1.2.	CREACIÓN DE BARRA VIRTUAL .....	59
7.1.3.	NOMBRAR ELEMENTOS .....	60
7.1.4.	NOMBRE ELEMENTOS DEL CORTE CENTRAL.....	61
7.1.5.	NOMBRAR GENERADORES .....	62
7.1.6.	NOMBRAR CARGAS.....	63
7.1.7.	NOMBRAR LOS SHUNTS .....	64
7.1.8.	CALCULO PARÁMETROS DE LÍNEAS.....	64
7.1.9.	CALCULO PARÁMETROS TRANSFORMADORES .....	66
7.2.	COMO INGRESAR A LA BASE DE DATOS DE PARATEC .....	68
7.3.	VISUALIZAR MEDIDAS DE POTENCIAS MW Y MVAR.....	70
7.4.	BUSCAR LOS DATOS DE LOS GENERADORES EN DigSILENT .....	75

## 1. INTRODUCCIÓN

El sistema SCADA Monarch es utilizado por INTERCOLOMBIA para la Operación y Supervisión de los activos de ISA en Colombia, con el cual se hace posible la supervisión del estado de dichos equipos, la actualización de los mismos en tiempo real y la visualización de medidas, teniendo un control desde el CSM (Centro de Supervisión y Maniobras). Los equipos de maniobras pueden ser operados desde diferentes lugares conocidos como niveles de operación, los cuales son:

**Nivel 0:** Operación ejercida desde el equipo directamente en el patio de la subestación.

**Nivel 1:** Operación ejercida desde una caseta de relés que se encuentra en el patio de la subestación [2].

**Nivel 2:** Operación ejercida desde la sala de control de la subestación a través de un computador [2].

**Nivel 3:** Operación ejercida a control remoto desde unas consolas que se encuentran en el Centro de Supervisión y maniobras [1].

OpenNet es una herramienta avanzada de SCADA para realizar análisis de seguridad de la red, crear estudios útiles en la operación y planeación de los sistemas eléctricos de potencia utilizando algoritmos para realizar simulaciones y optimización de la red; estos algoritmos vienen integrados en el sistema y el operador puede seleccionar el que más se adecue a la situación en la cual se encuentre el sistema de potencia, además de esto es necesario ingresar cada uno de los elementos como subestaciones, barras, generadores, transformadores, interruptores, seccionadores, compensadores, reactores, SVC, STATCOM y tierras en su base de datos con las parametrizaciones adecuadas para el correcto funcionamiento de los algoritmos y así utilizar sus funciones en modo de estudio y modo real. Las diferentes funciones y características que tiene el OpenNet son:

- Procesador de topología de redes
- Flujo de potencia
- Análisis de contingencias

- Estimador de estado
- Análisis de cortocircuitos
- Cálculo de capacidad de transferencia disponible.

El otro aplicativo importante del sistema SCADA Monarch y el cual se trabaja en este proyecto es el OpenOTS. El OpenOTS hace parte del OTS (Operator Training Simulator), en el cual se pueden hacer simulaciones tomando la red actual desde el sistema SCADA, creando casos de estudio similares a los que han ocurrido en la realidad y algunos casos que podrían ocurrir. Con esta herramienta es posible capacitar a los operadores del CSM y de otros centros de control en cuanto a los protocolos que se deben seguir, evaluar sus capacidades de reacción ante cualquiera de estos eventos típicos y atípicos a las cuales se deben enfrentar durante las sesiones de entrenamiento [6].

Para configurar el aplicativo OTS es necesario contar con el modelo de red actualizado y funcionando correctamente en OpenNet; por medio del presente proyecto se actualiza la base de datos completa de OpenNet en la que se consignan datos de cada uno de los elementos de la subestación con sus características propias, dicha base de datos es copiada a OpenOTS para comenzar con las simulaciones y evaluación de competencias a los Operadores y/o Analistas de INTERCOLOMBIA y TRANSELCA [6].

## **1.1. OBJETIVOS**

### **1.1.1. OBJETIVO GENERAL**

Establecer la metodología para el modelamiento del sistema de potencia en el simulador de entrenamiento de operadores del sistema SCADA Monarch.

### **1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1.1.2.1. Definir la metodología para el modelamiento de equipos en OpenNet.

1.1.2.2. Revisar y actualizar la base de datos de OpenNet.

1.1.2.3. Definir la metodología para el modelamiento de equipos en OpenOTS.

1.1.2.4. Revisar y actualizar la base de datos de OpenOTS.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

El sistema SCADA Monarch adquirido por INTERCOLOMBIA en el año 2013, contiene los módulos OpenNet y OpenOTS. Estos módulos se encontraban modelados, de acuerdo con las parametrizaciones iniciales indicadas por el fabricante y actualmente son usados de forma parcial dentro de los procesos llevados a cabo por la empresa; por esta razón, se considera necesaria la revisión de los modelos, definición e implementación de los más adecuados para las necesidades de INTERCOLOMBIA, dentro de los procesos de Operación del Sistema de Transmisión Nacional.



## **2. METODOLOGÍA**

El sistema SCADA Monarch con sus módulos OpenNET y OpenOTS, para cumplir con sus funciones de Análisis de Topología de Redes y Estimador de Estado, requiere un modelamiento específico de los equipos del Sistema de Potencia en la base de datos.

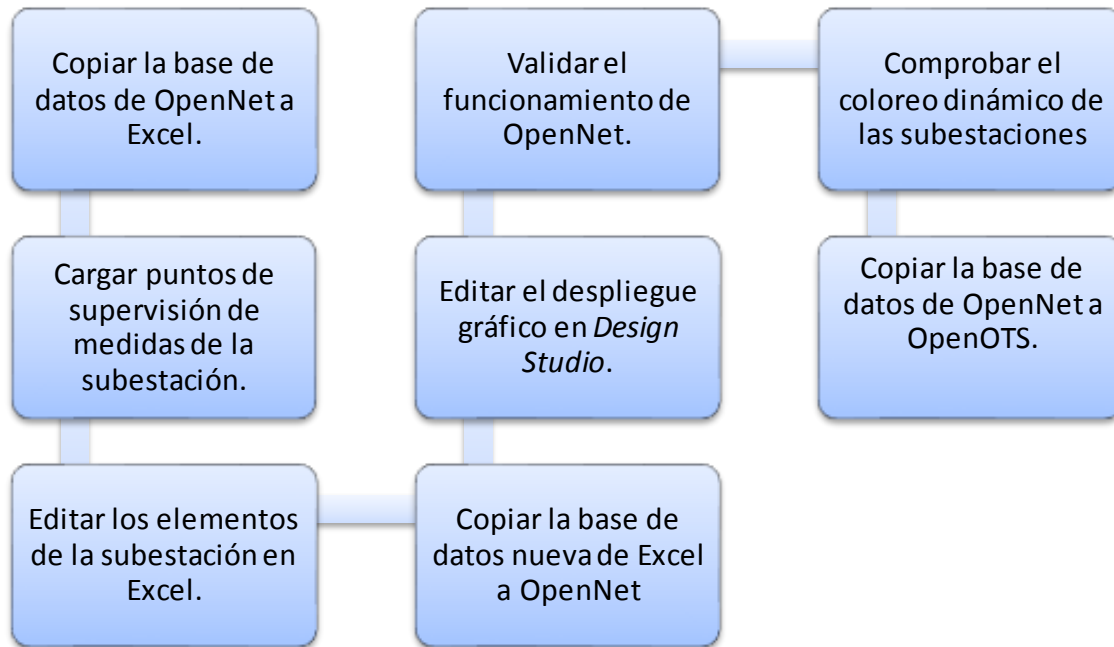
La información recolectada para la actualización de dicha base de datos debe ser acorde con lo establecido por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), que define límites de magnitudes eléctricas. Esta información se obtiene de la plataforma PARATEC de XM, en la cual, están contenidos los datos técnicos de los transformadores y líneas del Sistema de Potencia Colombiano y de las bases de datos de DigSILENT que se utilizan en INTERCOLOMBIA para estudios eléctricos y análisis de perturbaciones, suministrada por XM.

Los cálculos que deben ser efectuados para la actualización de los datos, se realizan de acuerdo con la documentación técnica incluida en los manuales de configuración del sistema SCADA y de las ecuaciones establecidas por el equipo de OSI (*Open System Interconnection*). Para lo anterior se ha definido la siguiente metodología:

### **2.1. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA MODELADO DE EQUIPOS EN OpenNet Y OpenOTS**

En el esquema que se presenta a continuación se encuentra sintetizada la metodología para modelar equipos en la base de datos de OpenNet y OpenOTS.

Figura 1. Esquema de Metodología para modelar equipos.



Fuente: Elaboración propia.

**2.1.1. Copia de base de datos a Excel.** Se realiza una copia de la base de datos actual de OpenNet en un libro de Excel, de manera que se asegure que no se pierda la información existente al momento de efectuar cambios y facilitar la edición. Lo anterior se debe a que al editar una celda directamente en el software, esta es actualizada e implica un tiempo de computo que ralentiza la edición de la base de datos, mientras que, al tener la información en un libro de Excel, se puede hacer edición de múltiples celdas y luego realizar una única actualización en OpenNet.

**2.1.2. Requerimiento a personal encargado de SCADA.** Se realiza el pedido a las personas encargadas de configurar el sistema SCADA, de cargar los puntos de supervisión de la subestación en el software. Los puntos de supervisión son el código único que utiliza el sistema para identificar cada una de las medidas y estados que toma cada elemento y actualizarlos en tiempo real.

**2.1.3. Edición de elementos de subestación.** Cada subestación está conformada por un conjunto de elementos, los cuales deben ser editados de manera individual en cada hoja del libro de Excel; como lo son:

- Transformadores y líneas.
- Taps de transformadores.
- Interruptor, seccionador, cable y cuchilla de puesta a tierra.
- Reactores y Capacitores.
- Buses estáticos.
- Generadores.

A continuación, se realiza una breve explicación de la información editable para cada conjunto de elementos.

- a. En el libro se filtra en la hoja “subestación” el nombre de la subestación que será editada, de no existir este nombre, se procede a crearla en un campo que se encuentre vacío, editando el área y la compañía a las cuales pertenece.
- b. Según el tipo de subestación se encontrará asociada cierta cantidad de buses estáticos en la hoja “Sbus”, en los cuales se deben editar características eléctricas de la subestación para elementos existentes, o crear los buses estáticos nuevos en los campos vacíos del listado de elementos.
- c. Los interruptores, cables, cuchillas de puesta a tierra y seccionadores se asocian a los buses estáticos indicando el nodo de inicio y nodo de fin, y a que bus pertenece cada nodo.
- d. Las líneas de transmisión y transformadores, se parametrizan acorde con la información que se extrae de PARATEC y DigSILENT, realizando cálculos para convertir a unidades requeridas por OpenNet.
- e. Existe una hoja llamada “Xformer” en la cual se relacionan las curvas de taps de los transformadores, dichas curvas se encuentran preestablecidas en SCADA y

relacionadas con un número específico según el cambio en porcentaje de taps y los límites superior e inferior de tensión.

- f. Se edita la lista de compensadores indicando si absorben o entregan potencia reactiva por medio de signos (“+” y “-”).
- g. Se editan los parámetros de las maquinas generadoras, utilizando la información consignada en las bases de datos de DigSILENT.

**2.1.4. Copia de la base de datos de Excel a OpenNet.** Después de realizada la actualización del libro en Excel, esta es copiada a la base de datos de OpenNet y para guardar los cambios efectuados se refresca el editor.

**2.1.5. Edición de despliegue gráfico.** Continuar con la edición del despliegue gráfico asociando los “SCADA key” o código único a los elementos que conforman la subestación gráficamente y editar sus propiedades de coloreo, indicando el tipo de elemento.

**2.1.6. Validación de funcionamiento de OpenNet.** Se hace una validación del aplicativo OpenNet en la función Estimador de Estado, se revisan los reportes que son entregados por dicha validación en los cuales aparece si existen errores en la base de datos, si esto sucede, el elemento al cual se asocia el error debe ser revisado en la base de datos y corregir la respectiva falla.

**2.1.7. Comprobación de Coloreo Dinámico.** Se valida el coloreo, utilizando el modo de estudio con modelo de red y tomando una copia instantánea en línea; esta opción se encuentra disponible en la barra de herramientas de OpenNet. Posteriormente, se realizan apertura y cierre de algunos interruptores y/o seccionadores observando lo que sucede cuando estos cambian de estado, verificando el color que toman los elementos de la subestación de acuerdo con las maniobras simuladas. Para cada subestación se efectúa el mismo procedimiento.

**2.1.8. Copia de la base de datos de OpenNet a OpenOTS.** Cuando todos los elementos se encuentran cargados en la base de datos y funcionando correctamente, se hace un requerimiento al personal encargado de la edición de SCADA para copiar la base de datos de OpenNet a OpenOTS.

## **2.2. RED OBSERVABLE Y SIMULADA DE OpenNET Y OpenOTS**

La red observable de OpenNet, involucra el modelo de red (procesador de topología de redes), estimador de estado y flujo de potencia; estos algoritmos deben ser simulados después de realizar los cambios en la red, verificar que funcionen adecuadamente y realizar correcciones. A continuación se presenta la metodología para la ejecución de los simuladores y la respectiva corrección de errores.

**2.2.1. Ejecución de Estimador de Estado en OpenNet.** El Estimador de Estado debe converger máximo en 12 iteraciones y posteriormente se revisan los reportes entregados por este.

**2.2.2. Corrección de errores de Estimador de Estado.** Se observan los errores que se listan en los reportes del Estimador de Estado que indican el punto exacto en el cual se presentan, se corrige punto por punto y se ejecuta de nuevo hasta encontrarse errores que pueden ser considerados normales o comunes.

**2.2.3. Ejecución y corrección de Flujo de Potencia.** Se ejecuta el Flujo de Potencia, los reportes entregados por este son revisados y corregidos puntualmente; comúnmente los errores reportados por el Estimador de Estado son iguales a los reportados por el Flujo de Potencia, por lo tanto, no aparecerán si se realiza el procedimiento de ejecución y corrección de Estimador de Estado correctamente.

**2.2.4. Verificación de casos de estudio OTS.** En el Simulador de Entrenamiento de Operadores se verifica que los casos de estudio converjan, de lo contrario, se visualizan errores

reportados en la pantalla principal que posteriormente son revisados y corregidos directamente por el personal encargado de editar SCADA.

**2.2.5. Edición y creación de Eventos en OTS.** Se editan los eventos en la base de datos de OpenOTS que posteriormente serán presentados a los aprendices verificando así, que los tiempos de la simulación sean los adecuados y corrigiendo las fallas presentadas.

### **3. DESARROLLO**

En el transcurso del proyecto se analizan distintas metodologías basadas en la experiencia de los analistas encargados de editar la base de datos de OpenNet y OpenOTS, definiendo las adecuadas para el correcto funcionamiento de las simulaciones. A partir de lo anterior se establece el procedimiento para añadir y editar los elementos del sistema de potencia en OpenNet, lo cual permite la ejecución del Estimador de Estado, Flujo de Carga y Análisis de Cortocircuito.

#### **3.1. DEFINICIONES**

Inicialmente se realiza un acercamiento a los conceptos claves para la comprensión de este trabajo.

- *Áreas:* Un área puede representar un segmento geopolítico de la red eléctrica, puede ser un área de la empresa, una división operativa, un miembro dentro del grupo, etc.
- *Bahía:* Conjunto conformado por los equipos que se utilizan para conectar una línea de transmisión, equipo de compensación, un transformador, o un autotransformador, al barraje de una subestación. Y los equipos que se utilizan para seccionar o acoplar barrajes, o para transferir la carga de un barraje a otro.
- *Bus dinámico:* Un bus dinámico indica todos los segmentos conectados entre sí mediante interruptores, el cierre de los interruptores puede formar un bus estático.
- *Bus estático:* Los nodos eléctricos del sistema de potencia pueden ser agrupados en barras o buses. Un bus estático dentro de una subestación es un conjunto de nodos, interruptores y

seccionadores. Debido a la conmutación, los buses estáticos se pueden dividir en múltiples buses dinámicos.

- *Cable*: Segmento que conecta dos interruptores y /o seccionadores dentro de un barraje; para modelarlos (líneas de impedancia 0), se definen pseudointerruptores en la subestación.
- *Centro de Supervisión y Maniobras (CSM)*: Centros a través de los cuales se supervisa la operación y se ejecutan o coordinan las maniobras en las redes y subestaciones de propiedad del transmisor Nacional, con sujeción a las instrucciones impartidas por el CND y teniendo como objetivo una operación segura y confiable del SIN, con sujeción a la reglamentación vigente y los acuerdos del Consejo Nacional de Operación- CNO.
- *Coloreo dinámico*: Cuando se reciben señales de estado de los interruptores, seccionadores y cuchillas de puesta a tierra en el SCADA. Estos cambian su color de acuerdo con los programados para cada nivel de tensión y estado.
- *Compañía*: La red del sistema de potencia está dividida en segmentos geopolíticos. Las compañías indican áreas de control externo o interno.
- *Elemento*: Se denominará así, a todos los cables, interruptores, seccionadores, transformadores, los cuales se encuentran entre dos nodos de las subestaciones.
- *Equipo*: Un elemento terminal conectado a un solo nodo de un bus se denomina equipo o dispositivo. Colectivamente, representa generadores, cargas, condensadores y reactores del sistema.
- *Interruptor (Breaker)*: Los interruptores representan todos los dispositivos de conmutación lógicos en el sistema de potencia; se conectan con nodos pertenecientes a las barras. Los interruptores también pueden conectar dos barras diferentes en una subestación.
- *Límite de emergencia*: Valor máximo de corriente que la línea o transformador y sus elementos asociados pueden soportar por un periodo de tiempo (30 minutos), sin que se produzcan daños o aperturas de los interruptores debidas a actuación de protecciones. El límite de emergencia se puede presentar bajo condiciones de sobrecarga del sistema de potencia.
- *Límite operativo*: Es la cantidad máxima de corriente que puede transportar la línea o transformador y sus elementos asociados, en condiciones normales de operación y por un tiempo indefinido.

- *Ramas (Branches)*: Los buses están interconectados a través de líneas de transmisión y transformadores mediante interruptores y seccionadores. Estas líneas y transformadores se denominan colectivamente ramas.
- *Seccionador*: Equipo de conmutación que hace visible la apertura o cierre de un circuito.
- *Sistema Interconectado Nacional- SIN*: Es el sistema compuesto por los siguientes elementos conectados entre sí: las plantas y equipos de generación, la red de interconexión nacional, las redes regionales e interregionales de transmisión, las redes de distribución, y las cargas eléctricas de los usuarios.
- *Sistema de transmisión nacional- STN*: Es el sistema interconectado de transmisión de energía eléctrica compuesto por el conjunto de líneas, con sus correspondientes módulos de conexión, que operan a tensiones iguales o superiores a 220 kV.
- *Sistema SCADA*: (Supervisory Control and Data Acquisition) Conjunto de equipos utilizados para supervisar y controlar de forma remota un sistema o unas instalaciones a través de señales análogas y digitales, que llegan a él a través de Unidades Terminales Remotas (RTU) o a través de un Gateway.
- *STATCOM*: Compensador Estático Síncrono, es un convertidor de tensión SVC con una estrategia de control vectorial para generar reactivos, regula la tensión, regula el factor de potencia, tiene respuesta rápida y respuesta suave.
- *Subestación*: Una subestación es un conjunto de elementos y equipos del sistema de potencia, como barrajes, interruptores, seccionadores, generadores, transformadores. Existen subestaciones de transmisión, subtransmisión y plantas de energía, pueden ser de diferentes niveles de tensión (500 kV, 230 kV, 110 kV).
- *Supervisión*: Adquisición, en forma directa o indirecta, de información de variables operativas y posición de equipos y procesamiento de las mismas, sin que esto implique control operativo de tales variables. Permite supervisar la red, que comprende el conjunto de actividades mediante las cuales el personal de operación hace seguimiento a las variables operativas (voltaje, corriente, potencia, temperatura, entre otras variables) identificando y tomando acciones respecto a cambios anormales en las mismas.
- *Static VAR Compensator- SVC*: Es un dispositivo eléctrico para proporcionar acción rápida de compensación de potencia reactiva de alta tensión en las redes de transmisión de electricidad.



- *Manual Técnico Normalizado:* Es el nombre que se le asigna a los manuales de los fabricantes y a los elaborados por INTERCOLOMBIA para cada equipo y establecen pautas, procedimientos y actividades para la Operación y Mantenimiento que se deben tener en cuenta para la elaboración de las Guías de aplicación Normalizadas.
- *Niveles de Operación:* Un equipo de maniobra se puede operar desde diferentes sitios conocidos como niveles de Operación, los cuales son: desde el equipo en el patio de la subestación, desde una caseta de relés en la subestación, desde la sala de control de la subestación o desde un computador ubicado en el CSM, lo cual depende del tipo de subestación, ya sea convencional o digital.

### **3.2. ACTUALIZACIÓN DE LA BASE DE DATOS DE OpenNet.**

La actualización de la base de datos de OpenNet se realiza con el fin de mejorar el funcionamiento del procesador de topología de redes, el estimador de estado y el flujo de potencia, los cuales son las principales funciones de este aplicativo.

#### **3.2.1. INGRESO A LA INTERFAZ DE USUARIO DE SCADA**

El aplicativo de SCADA se encuentra instalado en las consolas del Centro de Supervisión y Maniobras de INTERCOLOMBIA, al cual se puede acceder haciendo clic sobre el icono OpenView.NET en cualquiera de sus versiones: inglés o español. A continuación, se listan los pasos para abrir el aplicativo SCADA.

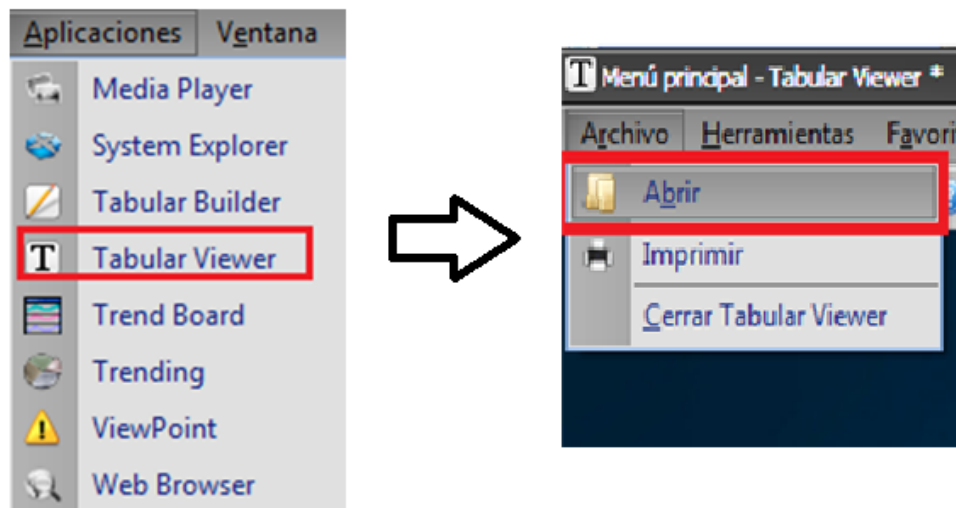
- a. Se abre el aplicativo SCADA haciendo clic sobre el icono OpenView.NET Español que puede ser encontrado en el escritorio del equipo.
- b. Se ingresa con un usuario y contraseña establecidos por el equipo de seguridad de la información.

Para comenzar a editar una subestación en la base de datos de OpenNet, se deben tener cargados los puntos de supervisión en el SCADA o códigos únicos de supervisión asignados a cada

elemento, por medio de los cuales son recibidas las señales desde la subestación en tiempo real. Para ingresar al menú editable de base de datos OpenNet se efectúan los siguientes pasos:

En la página principal del aplicativo se selecciona en el menú superior la opción “Aplicaciones”, allí se abre un desplegue en el cual se debe seleccionar la opción “Tabular Viewer”, como se puede observar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** siguiente figura:

Figura 2. Pasos para acceder al editor de base de datos.



Fuente: SCADA. Editado por autor.

Se abrirá el menú principal de Monarch en “Tabular Viewer”, se selecciona la opción “Archivo” que se encuentra en la parte superior izquierda, posteriormente, se da clic en “Abrir” y aparece una nueva ventana en la cual se selecciona en la opción “SCADA”, dando clic en el signo “+” que se encuentra a su izquierda, Se selecciona OpenNet & SCADA y se da clic en OK, o haciendo doble clic sobre OpenNet & SCADA. Ver Figura 3.

Figura 3. Abrir editor de base de datos.



Fuente: SCADA. Editado por autor.

Aparece entonces la base de datos editable, en la cual existen 10 opciones, de las que solamente son editables 8. A continuación, se explican las opciones editables de la base de datos:

### 3.2.2. SUBESTACIÓN

Todas las subestaciones supervisadas se encuentran en la base de datos de SCADA de XM, para obtener esta grafica en el SCADA de INTERCOLOMBIA el coordinador del CSM debe hacer un requerimiento solicitando cargar la subestación gráficamente con sus puntos de supervisión. Después de tener cargados los puntos de supervisión pasa a ser creada la subestación en la pestaña “STATION”. Al seleccionar dicha pestaña aparece un submenú en el cual están las siguientes opciones que deben ser editadas de acuerdo con los criterios que se especifican a continuación:

- Un número que Indica si la subestación está habilitada o deshabilitada, Se pone en 1, indicando que se activará la subestación, los elementos que se encuentran en cero “0” indican que este campo puede ser ocupado por otra subestación nueva.
- Para nombrar la subestación se crea un estándar en el cual se incluye el nombre de la subestación y nivel de tensión.

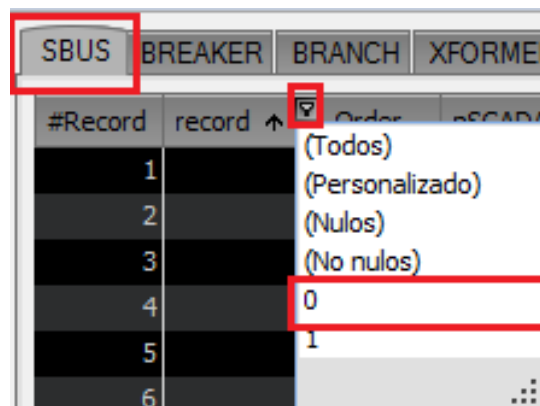
- c. Número del registro igual al campo que está ocupando la subestación dentro de la base de datos.
- d. Se selecciona el área respectiva y la compañía, para este caso existe la opción de ISA o TRANSELCA.

Después de haber ingresado estos datos para la pestaña subestación es necesario cerrar el editor, refrescar la página y volver a abrir para continuar con la edición en el resto de hojas.

### 3.2.3. SBUS

En esta pestaña se crean los buses estáticos, o se modifican los existentes. Para ingresar una nueva barra o bus se buscan los registros vacíos dando clic en el símbolo que se encuentra en la parte superior derecha de la opción “#Record”. Ver Figura 4; se selecciona la opción “0” (lo cual indica los espacios que no han sido ocupados con barras existentes).

Figura 4. Búsqueda de “#Record” vacíos.



Fuente: SCADA. Editado por autor.

Aparece posteriormente una lista de celdas vacías donde se podrán modificar los siguientes datos:

- a. Nombre de la Barra. Este nombre se dará con los siguientes criterios:

- Las primeras cuatro letras del nombre de la subestación a la cual pertenece van en mayúscula.
  - El nivel de tensión de la subestación. (para cada barra existe un límite de nodos (99), en caso de que se llegue a este límite se debe crear una barra virtual y se crea un cable para conectar estas dos barras)
  - El número de la barra; ejemplo: Barra1, Barra2, Bv3 (indica que es una barra virtual).
  - El nombre de la barra no debe contener espacios
  - Para subestaciones con nombres compuestos se utiliza la primera letra del primer nombre y las tres primeras letras del segundo nombre.
- b. El tipo de barra (si es PV, PQ o Slack).
- c. Nivel de tensión
- d. Límites inferiores de tensión. Se establecen los límites inferiores de tensión en la barra, los cuales son determinados en la resolución CREG 025 de 1995 [4]; la forma de calcular estos límites es:
- Para tensiones  $\leq 230$  kV.  $kV_{limit_{low}} = kV_{CLASS} * (1 - 0.1)$
  - Para tensiones entre 230 y 500 kV  $kV_{limit_{low}} = kV_{CLASS} * (1 - 0.1)$
- e. Límite superior de Tensión [4]. Este se calcula de la siguiente manera de acuerdo con la resolución CREG 025 de 1995 como se muestra a continuación:
- Para tensiones  $\leq 230$  kV.  $kV_{limit_{low}} = kV_{CLASS} * (1 + 0.1)$
  - Para tensiones entre 230 y 500 kV.  $kV_{limit_{low}} = kV_{CLASS} * (1 + 0.05)$
- f. El estado normal de la barra (este se indica con el numero 1 (Activa))
- g. El análisis de cortocircuito: indica si se desean arrojar reportes y hacer monitoreo de la falla. Se debe llenar el espacio con el número 1, de lo contrario, este valor será “0”.
- h. La tensión mínima permitida durante falla (de acuerdo con la resolución CREG 025 de 1995 este valor, corresponde al 80% de la tensión nominal) [4].

- i. La desviación estándar de las medidas, es decir, qué tanto puedo confiar en la medida de tiempo real, se debe indicar además, que la subestación es el nodo 1 para cada conjunto de equipos que se conecten a ella.

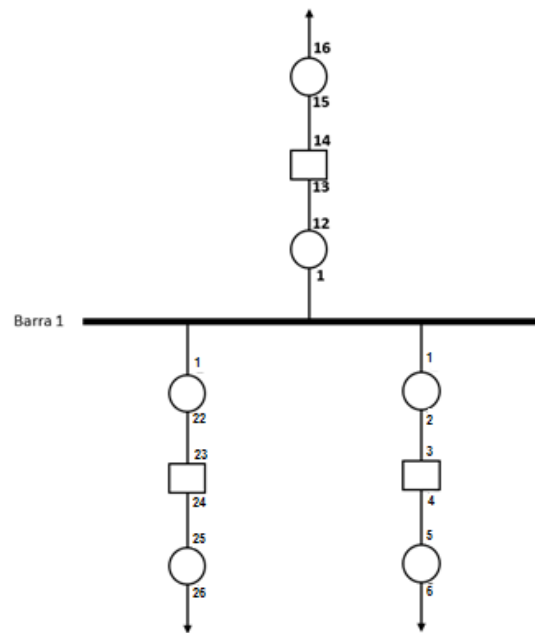
#### **3.2.4. BREAKER**

En esta pestaña se presenta el mayor número de posibles errores durante la configuración, puesto que se debe poner especial atención a la forma en que se configuran los “Sbus” y nodos. Para ingresar la información en esta pestaña, debe definirse la forma en que serán enumerados los nodos teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- El SCADA solo admite numeración de nodos desde 1 hasta el 99.
- Cada barra se enumera como nodo 1.
- El máximo número permitido de elementos conectados a una barra son 100.
- Cuando para una barra se ocupan todos los nodos o la cantidad de elementos conectados a esta, se hace necesario crear una nueva barra virtual y se comenzará a enumerar nuevamente como la anterior.
- Se empieza a enumerar cada bahía de derecha a izquierda.
- La primera bahía tendrá asociados nodos comenzando desde el 2 hasta el 9, la siguiente desde el 12 hasta el 19 y así sucesivamente hasta terminar la enumeración de los nodos [2].

En la Figura 5 se muestra la manera adecuada de nombrar los nodos para llevar un orden.

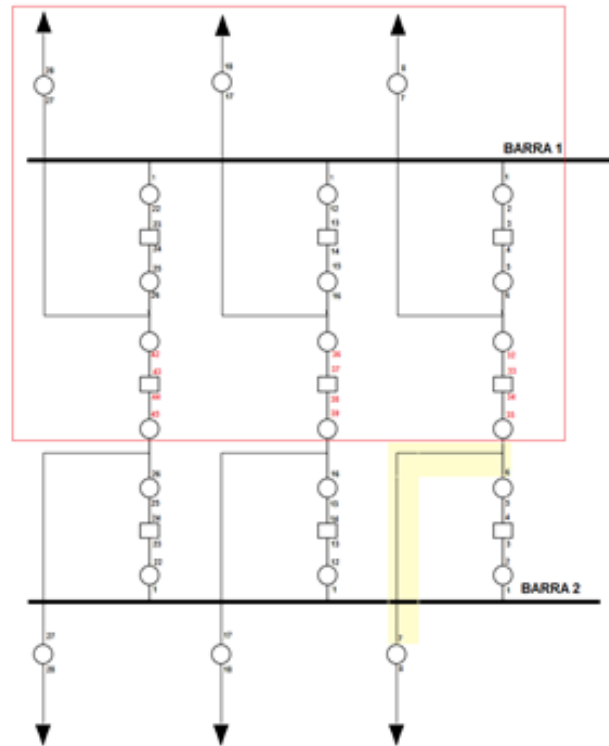
Figura 5. Forma de nombrar nodos de la subestación.



Fuente: Elaboración propia.

Dependiendo del tipo de subestación se tienen formas diferentes de numerar los nodos; por ejemplo, los cortes centrales de las subestaciones con configuración tipo interruptor y medio se asumen como nodos pertenecientes a la barra superior y se numeran igualmente de derecha a izquierda, continuando en la decena siguiente. Para mayor claridad de la manera en cómo debe nombrarse el corte central en subestaciones con configuración interruptor y medio Ver la Figura 6.

Figura 6. Nombrar elementos de corte central.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez definidos los nodos con las consideraciones anteriores se comienzan a registrar los elementos en la pestaña “*Breaker*”.

Una opción que agiliza el procedimiento de actualización, es copiar toda la base de datos a un archivo externo de Excel y a partir de esto realizar los cambios, que se muestran a continuación.

- a. Para ingresar un nuevo elemento se buscan los registros vacíos, se selecciona la opción “0”, lo cual indica los espacios que no han sido ocupados con elementos existentes.
- b. Se asigna un nombre al elemento que se va a ingresar. Los nombres de los interruptores se definen a partir de la siguiente secuencia:
  - Utilizar las primeras 4 letras de la subestación a la cual pertenece el “*Breaker*”.



- Asignar la primera letra del primer nombre, y las tres primeras letras del segundo, si el nombre del campo es compuesto.
  - Añadir el nivel de tensión de la subestación.
  - Utilizar 4 letras en mayúscula del nombre del campo al cual se conectan (si este campo tiene un número asociado, se añade).
  - Agregar número asignado del elemento (Ej. L221).
  - No utilizar espacios.
  - Numerar los cables, a medida que se alejan de la barra, utilizando la palabra “Cable”, y su número asignado, ya que no tienen nomenclatura.
  - Nombrar las tierras incluyendo una “G\_” al inicio del nombre y aplicar todos los pasos anteriores.
- c. Se selecciona el tipo de elemento que se está ingresando: “*Breaker*” (interruptor), “*Switch*” (seccionador/tierra) o “*Cable*” (cable).
  - d. Se edita el dato “SCADA key” en el momento que se esté actualizando el despliegue gráfico. Este dato, es el código único de supervisión para indicar apertura o cierre.
  - e. Se indica el número de la barra asignada de la cual sale el elemento y la barra a la cual llega el mismo. Este número se puede encontrar en la pestaña “Sbus” en el campo “#Record” en el cual se llenaron los datos de la barra.
  - f. Se ingresa el número de los nodos “desde” y “hasta”, de acuerdo con la enumeración asignada anteriormente, teniendo en cuenta el orden y a que barra o “Sbus” pertenece.
  - g. Se asigna el número 1 indicando la activación del elemento.
  - h. Se indica si el elemento es supervisado, el único elemento que no tiene supervisión, es decir “SCADA key” Es el cable.

*Nota:* Los interruptores, seccionadores y cables ocupan los “Record” a partir de 1 y las tierras del sistema ocupan “Records” a partir del 10000; esto debido a que las tierras no presentan el mismo coloreo y configuración de los interruptores y seccionadores.

### **3.2.5. BRANCH**

En esta pestaña se ingresan las líneas y los transformadores, buscando el último registro vacío. Los datos que se editan para líneas y transformadores son los siguientes:

**3.2.5.1. Nombre de la línea o transformador.** Se encontró que la manera adecuada para nombrarlos es la siguiente:

- Para líneas de transmisión: En este caso se ingresa la palabra Línea, Nivel de tensión en kV, Cuatro letras de la subestación de la cual sale la línea, Cuatro letras de la subestación a la cual llega la línea sin dejar espacios en el nombre.
- Para transformadores: Primeras cuatro letras del nombre de la subestación a la cual pertenece en mayúscula, Si el nombre es compuesto utilizar la primera letra del primer nombre, y las tres primeras 3 letras del segundo nombre, sin espacios y en mayúsculas, Nivel de tensión de la subestación, Nombre del transformador (ATraf01, Traf2, ATraf03, etc...) sin dejar espacios en el nombre.

*Nota:* Un transformador tridevanado se ingresa en la base de datos como tres transformadores, es decir, cada uno ocupa un espacio. Cuando es un transformador modelado como tridevanado se debe nombrar de la misma manera, simplemente se diferencia el nivel de tensión que se modela [5].

**3.2.5.2. Tipo de rama.** Se debe indicar que tipo de rama es, es decir si se trata de una línea o de un transformador.

**3.2.5.3. “Record”.** Se debe ingresar este dato de las barras “desde” y “hasta”, a las cuales se encuentra conectada la rama.

**3.2.5.4. Nodo.** Se debe ingresar este dato en los campos “desde” y “hasta” asociados a las barras o buses.

**3.2.5.5. Parámetros X y R.** En la base de datos OpenNet se requiere ingresar los parámetros de los transformadores y líneas en por unidad [p.u]. Los datos a ingresar son obtenidos de “PARACTEC” (Disponible en la página de XM), puesto que está en constante actualización. En estos archivos se pueden encontrar los siguientes datos a utilizar:

- Transformadores, especificando el Agente Operador/Transformador (Nombre del transformador), Capacidad alta, media y baja e Impedancia HL, HM y ML.

Nota: La tensión de placa se encuentra descrita en el nombre del transformador.

- Líneas de Transmisión, especificando el Nombre de la línea, nivel de tensión, longitud y resistencia y reactancia en ohmios sobre kilómetros.

#### **3.2.5.5.1. Ingreso del parámetro X para los transformadores en OpenNET**

Debe tenerse en cuenta que para el ingreso de estos valores primero deben efectuarse algunas operaciones. Los datos que deben tenerse en cuenta para este cálculo son:

- Impedancia en porcentaje (%) o en [p.u]:  
 HM: Impedancia entre el lado de Alta y Media tensión.  
 HL: Impedancia entre el lado de Alta y Baja tensión.  
 ML: Impedancia entre el lado de Media y Baja tensión.
- Conocer en qué base de potencia se encuentran estas impedancias. A continuación se describe en qué bases se encuentran los parámetros según cada fuente de información:
  - En PARACTEC la base es la potencia de alta. (Comúnmente la potencia de un transformador es la misma en el lado de Alta y Media).
  - En DigSILENT la potencia base es la menor.
- Tensiones de placa del transformador (Alta, Media y Baja).
- Tensiones del sistema (Alta, Media y Baja), estas tensiones se eligen de acuerdo con la tensión de placa del transformador.
  - Para tensiones de 120 kV, 110 kV y 115 kV, se toma 115kV.
  - Para tensiones de 220 kV y 230 kV, se toma 230 kV.
  - Para las demás tensiones (500kV, 13.8kV, 13.2kV, 44kV, etc.), se toma la misma tensión de placa como tensión del sistema.

##### **3.2.5.5.1.1. Transformadores de potencia BIDEVANADOS**

Los transformadores bidevanados solamente tienen valores de Alta y Baja tensión [5], razón por la cual se utiliza la siguiente ecuación:

$$Z_{HL} = \left( \frac{Z_{HL}^* * S_{BN}}{S_{BV}} \right) * \frac{1}{2} * \left[ \left( \frac{V_{PH}}{V_{SH}} \right)^2 + \left( \frac{V_{PL}}{V_{SL}} \right)^2 \right]$$

Donde,

$Z_{HL}$ : Impedancia en las bases que requiere el OpenNet.

$Z_{HL}^*$ : Impedancia en [p.u], tomada de PARATEC o DigSILENT.

$S_{BN}$ : Potencia base nueva, para el caso del sistema SCADA es 100 MVA.

$S_{BV}$ : Potencia base vieja, la cual depende de la fuente de la información.

$V_{PH}$ : Tensión de placa en el lado de Alta.

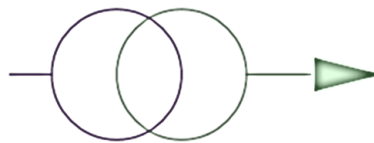
$V_{PL}$ : Tensión de placa en el lado de Baja.

$V_{SH}$ : Tensión del sistema en el lado de Alta.

$V_{SL}$ : Tensión del sistema en el lado de Baja.

Como se menciona anteriormente, la resistencia en un transformador es despreciable, por lo tanto, la impedancia es igual a la reactancia, dato que se ingresará en la base de datos. En la Figura 8 se muestra el diagrama unifilar de un transformador de potencia bidevanado.

Figura 8. Transformador bidevanado.



Fuente: SCADA. Editado por autor.

### 3.2.5.5.1.2. Transformadores tridevanados

Para los transformadores TRIDEVANADOS se deben efectuar los siguientes cálculos:

$$Z_{HM} = \left( \frac{Z_{HM}^* * S_{BN}}{S_{BV}} \right) * \frac{1}{2} * \left[ \left( \frac{V_{PH}}{V_{SH}} \right)^2 + \left( \frac{V_{PM}}{V_{SM}} \right)^2 \right]$$

$$Z_{HL} = \left( \frac{Z_{HL}^* * S_{BN}}{S_{BV}} \right) * \frac{1}{2} * \left[ \left( \frac{V_{PH}}{V_{SH}} \right)^2 + \left( \frac{V_{PL}}{V_{SL}} \right)^2 \right]$$

$$Z_{ML} = \left( \frac{Z_{ML}^* * S_{BN}}{S_{BV}} \right) * \frac{1}{2} * \left[ \left( \frac{V_{PM}}{V_{SM}} \right)^2 + \left( \frac{V_{PL}}{V_{SL}} \right)^2 \right]$$

$$Z_H = \frac{1}{2} * (Z_{HM} + Z_{HL} - Z_{ML})$$

$$Z_M = \frac{1}{2} * (Z_{HM} + Z_{ML} - Z_{HL})$$

$$Z_L = \frac{1}{2} * (Z_{HL} + Z_{ML} - Z_{HM})$$

$Z_{HL}$ : Impedancia entre Alta y Baja en bases requeridas por OpenNet.

$Z_{HL}^*$ : Impedancia entre Alta y Baja en [p.u], tomada de PARATEC o DigSILENT.

$Z_{HM}$ : Impedancia entre Alta y Media en bases requeridas por OpenNet.

$Z_{HM}^*$ : Impedancia entre Alta y Media en [p.u], tomada de PARATEC o DigSILENT.

$Z_{ML}$ : Impedancia entre Media y Baja en bases requeridas por OpenNet.

$Z_{ML}^*$ : Impedancia entre Media y Baja en [p.u], tomada de PARATEC o DigSILENT.

$S_{BN}$ : Potencia base nueva, para el caso del sistema SCADA es 100 MVA.

$S_{BV}$ : Potencia base vieja, la cual depende de la fuente de la información.

$V_{PH}$ : Tensión de placa en el lado de Alta.

$V_{PM}$ : Tensión de placa en el lado de Media.

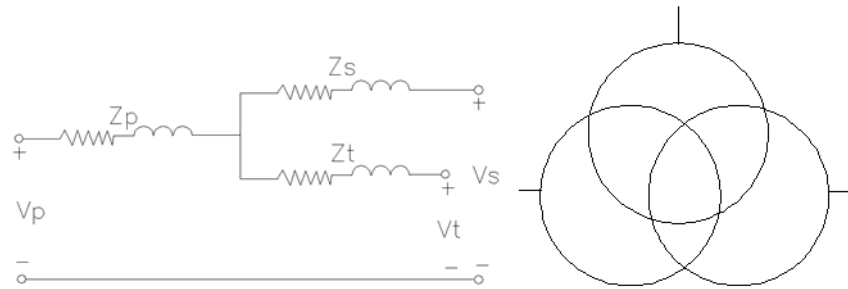
$V_{PL}$ : Tensión de placa en el lado de Baja.

$V_{SH}$ : Tensión del sistema en el lado de Alta.

$V_{SM}$ : Tensión del sistema en el lado de Media.

$V_{SL}$ : Tensión del sistema en el lado de Baja.

Figura 9. Modelo y diagrama unifilar de transformador tridevanado.



Fuente: Elaboración propia.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra la forma de conexión que se utiliza para un transformador tridevanado, y de acuerdo con esto se realizan los respectivos cálculos, además, se muestra en el diagrama unifilar de un transformador tridevanado.

### 3.2.5.5.1.3. Autotransformadores

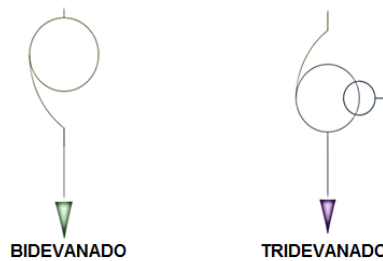
Un autotransformador puede modelarse como un transformador de potencia BIDEVANADO o TRIDEVANADO y para elegir la forma en la que debe ser modelado el Autotransformador en la base de datos de OpenNet, se deben tener en cuenta los siguientes criterios:

- Un transformador bidevanado se puede modelar como tal, si aguas abajo del mismo se encuentra modelada otra parte de la red, de lo contrario se debe modelar como una carga fija del sistema.
- Un autotransformador se modela como transformador bidevanado si no existe modelo aguas debajo del lado de baja tensión.
- El autotransformador se modela de la misma manera que un tridevanado, si aguas abajo del lado de media y baja tensión se encuentra modelada la red.

- d. Un autotransformador se puede modelar como carga si no se encuentra modelada aguas abajo la red.

En la Figura 10 se observa la representación gráfica de un autotransformador, dependiendo de cómo debería modelado.

Figura 10. Modelos de autotransformadores.



Fuente: SCADA. Editado por autor.

#### **3.2.5.5.1.4. Ingreso de los parámetros de líneas de transmisión en OpenNET.**

Los parámetros de las líneas de transmisión que deben ser ingresados a la base de datos OpenNet son R (resistencia), X (reactancia) y S FROM y S TO (suceptancia desde y hasta respectivamente) en [p.u]

##### **3.2.5.5.1.4.1. X y R**

Los datos requeridos para efectuar los cálculos e ingresar a OpenNet los parámetros son:

- Nivel de tensión (Tensión nominal) [kV].
- Longitud de la línea de transmisión [km].
- Resistencia ohm sobre kilómetro
- Reactancia siemens sobre kilómetro.
- Potencia base a la cual se quiere llevar los parámetros, para el caso del ingreso al SCADA son 100 MVA.

Todos los datos requeridos se pueden encontrar en el PARATEC (XM).

Se deben aplicar las siguientes ecuaciones:

$$Z_{BASE} = \frac{T_{nom}^2}{S_{base}}$$

Después de tener la impedancia en la base de 100 MVA, se efectúa el cálculo de la resistencia y la reactancia de la línea, así:

$$R_{PU} = \frac{R^* * L}{Z_{BASE}}$$

$$X_{PU} = \frac{X^* * L}{Z_{BASE}}$$

Donde,

$Z_{BASE}$ : Impedancia de la línea llevada a la base de 100 MVA de potencia.

$T_{nom}$ : Tensión nominal de la línea.

$S_{base}$ : Potencia base del OpenNet [100MVA].

$R_{PU}$ : Resistencia en [p.u] a ingresar en el OpenNet.

$R^*$ : Resistencia en ohmios sobre kilómetro.

$X_{PU}$ : Reactancia en [p.u] a ingresar en el OpenNet.

$X^*$ : Reactancia de la línea en siemens sobre kilómetro.

$L$ : Longitud de la línea en kilómetros.

#### **3.2.5.5.1.4.2. S FROM y S TO**

La susceptancia de la línea de transmisión teniendo en cuenta el modelo PI se encuentra representada en los capacitores de sus extremos, por lo cual tiene un lado “desde”, que es igual al “hasta”. Del PARATEC se obtiene la información requerida para llevar este dato a por unidad, como lo requiere el OpenNet:

- Longitud de la línea [km].
- Susceptancia [ $\mu$ S/km].
- Tensión Nominal
- La potencia base a utilizar es 100 MVA.



$$Y_{BASE} = \frac{1}{Z_{BASE}} = \frac{1}{\frac{(T_{NOM})^2}{S_{base}}} = \frac{S_{base}}{(T_{NOM})^2}$$

$$B[p.u.] = \frac{B^* * L}{Y_{BASE} * 2}$$

Donde,

$Y_{BASE}$ : Admitancia base. [Siemens]

$Z_{BASE}$ : Impedancia base. [Ohm]

$T_{NOM}$ : Tensión nominal. [kV]

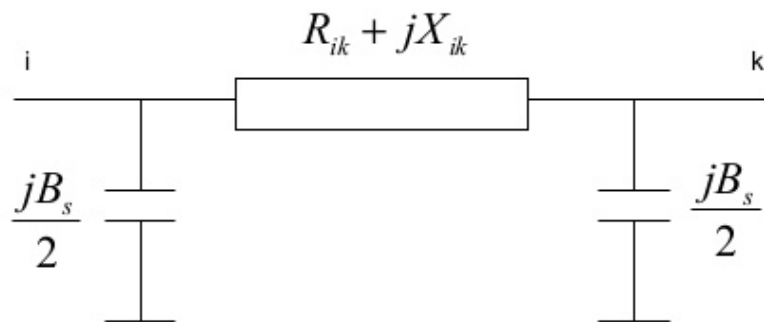
$S_{base}$ : Potencia base (100 MVA).

$B[p.u.]$ : Susceptancia en p.u.

$B^*$ : Susceptancia en  $\frac{S}{Km}$ .

$L$ : Longitud de la línea. [km]

Figura 11. Modelo pi de línea de transmisión.



Fuente: Editado por autor.

El estado normal de la rama Se pone en 1, lo cual indica que estará normalmente cerrado.

**Límites de capacidad 1, 2 y 3:**

Los límites físicos correspondientes a la rama se asignan para los lados Desde y Hasta de la rama, y se pueden ajustar como MVA, MW, MVAr, AMP; normalmente en la base de datos de OpenNet para INTERCOLOMBIA se ingresa en MVA.

El primer límite es el menos crucial y el tercero es el límite más crítico, Los límites de los lados Desde y Hasta son típicamente los mismos, pero pueden variar. Dependiendo del tipo de rama, si es transformador o línea, estos límites se hallan de la siguiente manera:

a. Para un transformador:

En transformadores los límites operativos se calcularon en MVA de 3 formas:

- Límite 1 corresponde al 90% de la capacidad nominal en MVA del transformador.
- Límite 2 corresponde al 100% de la capacidad nominal en MVA del transformador.
- Límite 3 corresponde al porcentaje reportado en el PARATEC.

Todos los valores de la capacidad nominal de cada transformador de la base de datos, son comparados con los valores que se encuentran en el PARATEC.

- Los transformadores de conexión tienen límites específicos de “Límite 3”.
- Los transformadores de generación no poseen “Límite 3”; para estos casos particulares se toma al 100% correspondiente al “Límite 2”.

b. Para líneas de transmisión:

Cada empresa entrega los límites de capacidad para sus transformadores (térmico, de emergencia y nominal, todos en Amperios). Dependiendo de la magnitud de los límites de capacidad, se clasifican según el nivel, siendo el límite “1” el de menor valor y “3” el de mayor valor. Ya que la empresa entrega tales valores en Amperios, se realiza el siguiente procedimiento para convertirlos a [MVA], como requiere el programa.

- $Lim1 (MVA) = Capacidad\ nominal \times \sqrt{3} \times Tnom$
- $Lim(2\ o\ 3) (MVA) = Capacidad\ emergencia \times \sqrt{3} \times Tnom$
- $Lim(2\ o\ 3) (MVA) = Capacidad\ térmico \times \sqrt{3} \times Tnom$

**3.2.5.6.** Se deben asignar las unidades en las cuales se ingresan los límites de capacidad y como se menciona anteriormente, se utilizan valores en MVA.

**3.2.5.7.** Corriente máxima de cortocircuito expresada en amperios, para los transformadores bidevanados, este valor es hallado a partir de:

- La reactancia de cortocircuito expresada en porcentaje (este valor se toma de la base de datos de DigSILENT),
- La corriente nominal calculada a partir de la tensión y potencia, según la siguiente ecuación:

$$I_{NOM} = \frac{S}{\sqrt{3} * V_{NOM}}$$

Donde,

S: potencia aparente expresada en kVA.

$I_{NOM}$ : Corriente nominal en A.

$V_{NOM}$ : Tensión nominal del transformador (alta o baja) en kV.

- La curva de corriente de cortocircuito versus tiempo de la ANSI IEEE C57.109-1993, tomando el tiempo mínimo de 2 segundos.
- Se toman rangos de reactancias, puesto que no se tienen siempre valores enteros.

Rangos reactancia (%)	Veces la $I_{nom}$
$0 < X \leq 4$	25
$4 < X \leq 5$	20
$5 < X \leq 6$	16
$6 < X \leq 7$	12
$7 < X \leq 8$	11
$8 < X \leq 10$	10
$10 < X \leq 12$	9
12 o mayor	8

Tabla 1. Corrientes de cortocircuito máximas vs reactancia.

Para los transformadores tridevanados, se toman las reactancias de alta-media, media-baja, y baja-alta para calcular las corrientes de cortocircuito máximas en sus tres devanados. Se utiliza el mismo criterio que para los bidevanados, el nodo común se deja en un valor de 0. Para las líneas

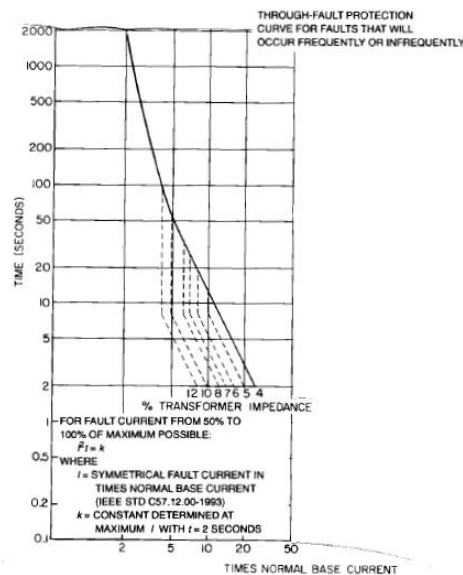
de transmisión las corrientes máximas de cortocircuito se dan de acuerdo con el dato de la subestación, esta información se puede recopilar de las oportunidades de conexión de la UPME.

**3.2.5.8.** Para la realización del análisis de cortocircuito, se indica si se requieren datos comparativos con los límites ingresados.

**3.2.5.9.** Los “SCADA key” o códigos de supervisión de las medidas de potencia activa, potencia reactiva, corrientes y tensiones en ambos extremos de los “Sbus”, esto de acuerdo con el orden que se ha tomado de las barras.

**3.2.5.10.** Se debe asignar también el valor de la desviación estándar de las medidas, es decir confiabilidad en las mediciones reportadas; para líneas y transformadores se utiliza 1.5 (P, Q, I, V).

Figura 12. Curva de corrientes máximas de cortocircuito para transformadores.



Fuente: Norma ANSI IEEE C57 109 1985.

### 3.2.6. XFORMER

La pestaña “Xformer” contiene datos que pertenecen a las características del transformador. Se especifica el tap, si no lo tiene se crea para conservar el orden, Se deben ingresar nuevamente cada uno de los transformadores que se crearon en la pestaña “Branch”. Los principales campos

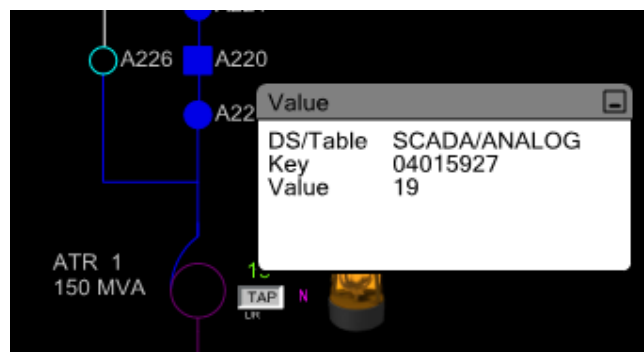
que se editan en esta pestaña son el “#Record” que ocupa el transformador en la pestaña “Branch”, el lado que se controla del transformador, el origen de la relación de taps primario y secundario.

Existen curvas de taps establecidas para cada uno de los transformadores en las cuales se indica el paso y los niveles de tensión en [p.u], y de acuerdo con el transformador se asigna el número de curva que le corresponde.

*Nota:* Las curvas de los taps se encuentran cargadas en el SCADA y pueden ser obtenidas de esta base de datos y hacer la selección respectiva de acuerdo con la cantidad de taps (máximo y mínimo), porcentaje de paso. La información de los taps para asociar con dichas curvas puede ser obtenida de la base de datos de DigSILENT.

Se debe ingresar El “SCADA key” análogo para el tap ratio. En la Figura 13 se puede observar la manera de visualizar el código de supervisión.

Figura 13. SCADA Key del tap ratio.



Fuente: SCADA.

La Desviación estándar de las medidas, para taps de transformadores se asigna valor de “1”.

### 3.2.7. LOAD

En esta pestaña se deben configurar las cargas que tiene la subestación. Para ingresar cargas en la base de datos del OpenNET, se busca un “#Record” que este en “0”, y se empiezan a diligenciar datos como:

**3.2.7.1.** Nombre de la carga, para el cual se establecen los siguientes criterios:

- Primeras cuatro letras del Nombre de la subestación (mayúsculas).
- Nivel de tensión de la carga.
- Primeras cuatro letras del nombre del campo (carga), en mayúsculas, sin espacios.

**3.2.7.2.** El tipo de carga: OpenNet admite tres tipos de carga:

- (CONF) Variable: Los MW Y MVAR de la carga pueden ajustarse a cualquier cambio de la demanda del sistema, de la compañía o del área.
- (MW-CL) MW- Variable: Solamente el valor de MW de la carga puede ser reasignado para cubrir sus cambios en la demanda.
- (NCL) Constante: Los valores de MW y MVAR de la carga son fijos.

**3.2.7.3.** Barra y nodo en los cuales se encuentra conectada la carga.

**3.2.7.4.** Valores de potencia programados, se utilizan para comenzar a correr el estimador de estado, estos valores se eligen de tiempo real.

**3.2.7.5.** “SCADA key” de las medidas de potencia activa y reactiva de la carga.

**3.2.7.6.** Desviación estándar de los valores de potencias, credibilidad de las medidas, se fija en 2.

### **3.2.8. GENER**

Cuando se ingresa un nuevo generador en la base de datos debe registrarse algunos datos importantes:

**3.2.8.1.** El nombre del generador. Para nombrar los generadores se escriben las primeras cuatro letras del nombre de la subestación en mayúscula, seguido por el nivel de tensión y numero de generador.

**3.2.8.2.** OpenNet acepta cuatro tipos de generadores: PQ, PQV, PV y SLACK (Referencia), lo cual determina el tipo de barraje al cual se encuentra conectado el generador. Un generador de tipo PV solo mantendrá fija su generación en MW, el barraje de referencia o SLACK ignora por completo la información de la generación programada, se usan principalmente tipo PV.

**3.2.8.3.** Número del barraje y nodo en los cuales se encuentra conectado el generador.

**3.2.8.4.** La magnitud de tensión programada en kV para generadores de PV y Slack.

**3.2.8.5.** La generación MW programada o deseada del generador.

**3.2.8.6.** La generación MVAr programada o deseada del generador.

**3.2.8.7.** La generación máxima y mínima de MVAr permitida para el generador.

*Nota:* estos datos pueden ser encontrados en PARATEC.

La generación máxima en MVAR es la capacidad de generación de reactivos, y la generación mínima en MVAR es la capacidad de absorción de reactivos.

**3.2.8.8.** La generación máxima y mínima de MW permitida para el generador; los datos de potencias máximas y mínimas se encuentran en DigSILENT.

**3.2.8.9.** Tipo de generación: térmica o hidráulica.

**3.2.8.10.** Parámetros X y R:

Los parámetros reactancia subtransitoria y resistencia son Utilizados en la construcción de la matriz de admitancia y en el cálculo de las corrientes del generador durante la falla en el análisis de cortocircuito. Para añadir los parámetros de los generadores, los datos pueden ser consultados en la base de datos del DigSILENT, en esta base de datos están en [p.u] con bases de potencia y tensión nominal del generador, OpenNet maneja una base de potencia de 100 MVA, y de tensión nominal. Para realizar el cambio de bases se utiliza la siguiente ecuación:

$$X_d'' = \frac{(X_d'' * 100)}{S_{BV}}$$

Dónde:

$X_d''$ : Reactancia subtransitoria de saturación. [p.u]

$X_d''$ : Reactancia subtransitoria de saturación con las bases de DigSILENT. [p.u]

$S_{BV}$ : Potencia con las bases viejas.

**3.2.8.11.** Corriente límite del análisis de cortocircuito en la localización de fallas. Este valor se toma de la máxima corriente de cortocircuito del transformador al cual se conecta el generador, dato que fue calculado con anterioridad en el despliegue de transformadores.

**3.2.8.12.** Indicador de análisis de cortocircuito para el cálculo de la corriente de falla en amperios.

**3.2.8.13.** Se digita el “SCADA key” de cada una de las medidas de potencia activa, reactiva y tensión.

**3.2.8.14.** Desviación estándar de las medidas de potencia activa y reactiva, se establece con un “2”.

### **3.2.9. SHUNT**

En este despliegue se ingresan los datos de los reactores y condensadores conectados en las subestaciones. Deben ingresarse los siguientes datos relevantes:

**3.2.9.1.** Nombre de la compensación, la manera estándar para nombrar los compensadores, es:

- Nombre de la subestación en 4 letras mayúsculas.
- Nivel de tensión.
- Tipo de compensación (Rea, Cap).
- Numero de compensador, en el caso de que existan varios en la subestación.
- Si pertenecen a alguna bahía de línea se escribe en tres letras el campo al cual pertenecen.

**3.2.9.2.** Tipo de compensador: existen dos opciones, fijo o no controlable (fixed) y controlable Bank. Normalmente en la base de datos de OpenNet todos son configurados como FIXED.

**3.2.9.3.** Barra y nodo en el cual se encuentra conectado el compensador.

**3.2.9.4.** Los reactivos nominales de cada equipo presentados en [p.u], estos datos pueden ser tomados de PARATEC o de DigSILENT. Para los compensadores capacitivos se considera negativo ya que se encuentran inyectando reactivos, y los reactores se consideran positivos al absorber reactivos. Se debe recordar que la potencia base de OpenNet son 100 MVA.

**3.2.9.5.** Valor de la susceptancia del compensador en [p.u], este puede ser tomado desde la base de datos del DigSILENT, o calculado directamente conociendo la tensión y potencia nominal.

**3.2.9.6.** Límites de potencia reactiva del compensador. Se establecen los límites mayor y menor de acuerdo al tipo de compensador.

- Para compensadores capacitivos:



$$Limit_{low} = 1.05 * Q$$

- Para compensadores reactivos:

$$Limit_{high} = 1.05 * Q$$

**3.2.9.7.** Tensión nominal de la subestación en la cual se encuentra conectado el compensador.

**3.2.9.8.** “SCADA key” de las medidas de potencia activa, reactiva y corriente.

**3.2.9.9.** Desviación estándar de las medidas de potencias, nivel de confiabilidad en las medidas.

Para la potencia reactiva en los compensadores se establece utilizar “2”.

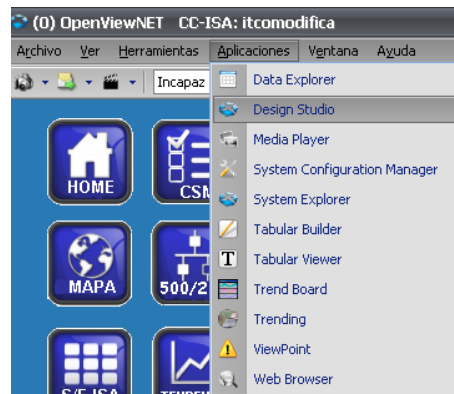
Después de haber ingresado todos los datos correspondientes es necesario cerrar el archivo y refrescar la página, posteriormente volver a abrir el archivo y continuar con la edición.

### **3.3. ACTUALIZACIÓN DE DIAGRAMA UNIFILAR**

El siguiente paso después de tener la información consignada en la base de datos es actualizar el diagrama unifilar que se tiene cargado desde el inicio, para que se presente el coloreo dinámico en el momento de realizar maniobras en tiempo real y también cuando se realizan las simulaciones del modelo de red en modo de estudio.

Utilizando el programa “*Design studio*” se abre el archivo del unifilar de la subestación. Ver Figura 14.

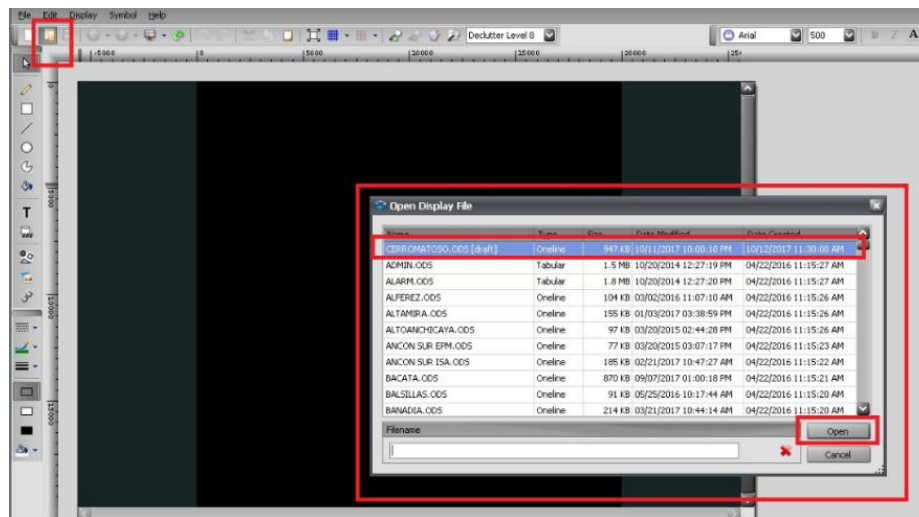
Figura 14. Abrir *Design Studio*.



Fuente: SCADA.

Para abrir la subestación y comenzar con la asignación de los “SCADA key” cuando se abra el nuevo despliegue. Clic en archivo, seleccionar la subestación a modificar., clic en Abrir (Open). Ver Figura 15.

Figura 15. Abrir unifilar editable.



Fuente: SCADA. Editado por autor.

Para cada elemento del despliegue se actualiza el “#Record” correspondiente a OpenNet, en el campo “Key” del color link. Tanto para “Breaker” como para barras, líneas, trafos, medidas, etc.

Se debe seleccionar el elemento haciendo clic sobre el mismo; si este se compone por varios segmentos de dibujo, para seleccionarlos juntos se hace clic sobre el segmento +Ctrl sostenido hasta terminar la selección.

### **3.3.1. BARRA**

En la ventana “propiedades”, opción data se configuran los datos OpenNet, “Sbus”, Tp\_status. En el espacio key, ubicado en la parte inferior del cuadro de control se inserta el valor del “#Record” correspondiente a la barra. Es necesario abrir en el menú principal de OpenNet, modelo de red, buses estáticos, buscando el “#Record” que se ingresó, si este se encuentra OFFLINE, debe ponerse ON-LINE.

### **3.3.2. LÍNEA**

Para una línea, se editan en la ventana “propiedades”, data, opción color link los siguientes datos:

- “Key”: Es el número de “#Record” que se asignó en la base de datos en la pestaña “Branch”.
- “State table”: Se debe seleccionar el color estandarizado para el nivel de tensión de la subestación, después se seleccionan las opciones: OpenNet, *Branch* y Tp\_status.

### **3.3.3. CABLE**

Se seleccionan los cables dando clic sobre el segmento, propiedades, y en la opción DATA se seleccionan siempre las opciones: “COLOR\_OPENNET”, “COLORING” y “Status”.

En la opción “key” se asigna el número “#Record” correspondiente en la base de datos, y en la opción “State table” se selecciona el color correspondiente al nivel de tensión de la subestación

### **3.3.4. INTERRUPTOR Y SECCIONADOR**

Se selecciona el interruptor haciendo clic sobre este. En las propiedades del símbolo, opción data, color link se seleccionan siempre las opciones: “COLOR\_OPENNET”, “COLORING” y “Status”.

En la opción “Key” se asigna el “#Record” correspondiente en la base de datos, en el “State table” se asigna el color correspondiente a la subestación. En la opción “data link” debe estar configurada en secuencia decreciente: SCADA, STATUS y State.

En el key del data link se encuentra el código que se digitará en la opción **pSCADA** del desplegue editable de la base de datos del “*Breaker*” en **Tabular Viewer**.

### **3.3.5. TIERRAS**

Las cuchillas de puesta a tierra se encuentran graficadas en color amarillo, y como se vio anteriormente se encuentran ubicadas en la base de datos a partir del “Record 10000”, en el editor gráfico de “*Design Studio*” no se debe asignar el “Record” ya que no tiene el mismo coloreo que los “*Breakers*”. La supervisión viene definida directamente desde SCADA. Solamente se debe verificar que el “SCADA key” corresponda a la tierra seleccionada.

### **3.3.6. TRANSFORMADORES Y AUTOTRANSFORMADORES**

Para nombrar los gráficos de los transformadores en el diagrama unifilar se debe seleccionar cada uno de sus lados (alta y baja) por separado para elegir el coloreo adecuado de acuerdo con el nivel de tensión al cual corresponde. En COLOR LINK se deben seleccionar siempre las opciones “OpenNet”, “*Branch*” y Tp\_status.

KEY: Se asigna el “#Record” correspondiente en la base de datos. State table: Se asigna el color correspondiente al nivel de tensión.

### **3.3.7. MEDIDA ANÁLOGA DE POTENCIA ACTIVA, POTENCIA REACTIVA, CORRIENTE Y TENSIÓN**

Los puntos de supervisión de estas medidas están cargados desde el inicio en el OpenNet, es necesario conocerlos para Transformadores, Líneas, Cargas, Generadores, Compensadores. Al hacer clic sobre cada una de ellas, aparecerá la tabla de propiedades, donde podrá encontrarse el “SCADA key”, que debe ser actualizado en el “tabular viewer”, opción editable en las pestañas:

MEDIDAS ANÁLOGAS	
BRANCH	FROM P, Q, I, U.
	TO P, Q, I, U
GENER	P
	Q
	Volt
LOAD	P
	Q
SHUNT	I
	P
	Q

Tabla 2. Medidas Análogas.

### 3.3.8. COMPENSADORES

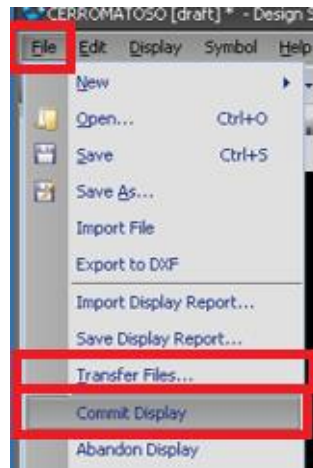
Para los compensadores se da clic sobre su figura, y se abre el editor. En Data se asignan siempre las opciones “OpenNet”, “Shunt” y “Tp\_status”.

En “key” se digita el número “#Record” establecido para dicho compensador y Se establece el coloreo para el compensador dependiendo del nivel de tensión.

## 3.4. VERIFICACIÓN FUNCIONAMIENTO OpenNet

Una vez modificado el despliegue se utiliza la opción “Commit Display” para actualizar el despliegue en todas las consolas.

Figura 16. “Commit Display” y *Transfer*.



Fuente: SCADA. Editado por autor.

Se utiliza la opción transfer para enviar la actualización a TRANSELCA. Ver Figura 16.

Se debe ingresar nuevamente al aplicativo de OpenNet

- Modelo de red.
- En la opción estatus se activan aquellos elementos que así lo requieran.

Figura 17. Activar elementos

Resumen de Interruptor

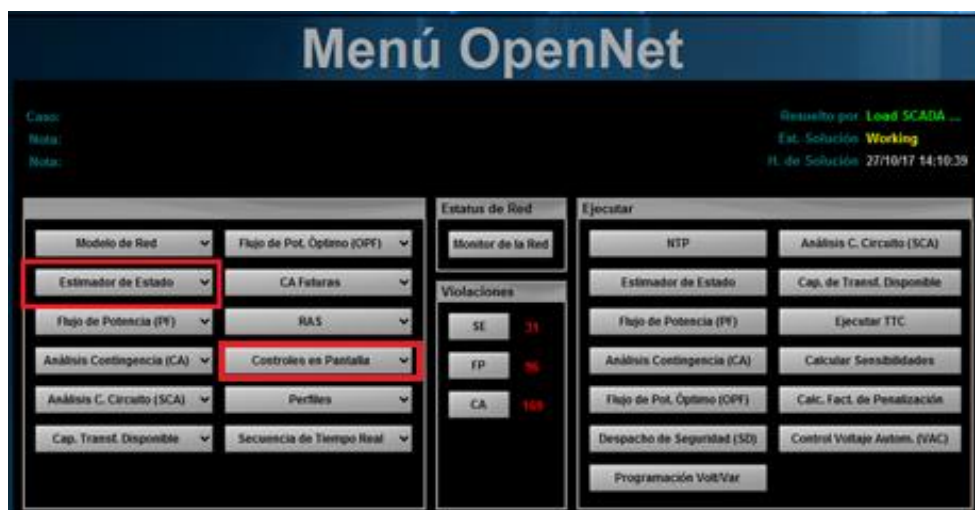
Interru...	Nombre	Tipo	Estatus	Desde	Hasta
				SBus	Nombre de SBus
1	ATraf01 Inter4	Breaker	CLO...	1	ALTAMI115B...
2	ATraf01 SecLn	Switch	OPEN	1	ALTAMI115B...
3	ATraf01 Cable1	Cable	CLOSED	1	ALTAMI115B...
4	ATraf01 Cable2	Cable	CLOSED	1	ALTAMI115B...

Fuente: SCADA. Editada por autor.

- Validar OpenNet.

**3.4.1.** Para realizar la validación se ingresa al menú principal del OpenNet como se vio anteriormente; Seleccionar “Estimador de Estado”. Ver Figura 18.

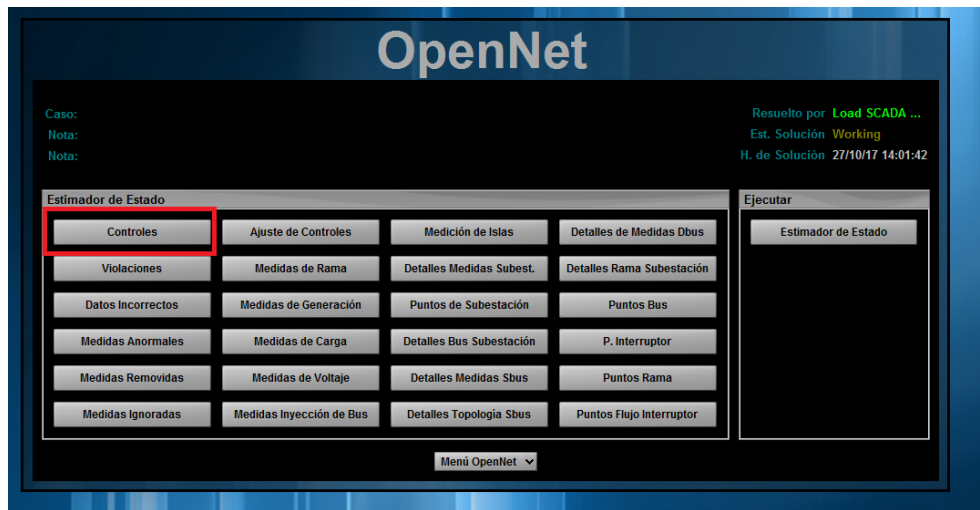
Figura 18. Selección de Estimador de Estado.



Fuente: SCADA. Editado por autor.

**3.4.2.** En el menú que aparece seleccionar “Controles”. Ver Figura 19.

Figura 19. Seleccionar controles.



Fuente: SCADA. Editado por autor.

- 3.4.3.** En la ventana “Controles” de “Estimador de Estado”, seleccionar “Construir ref. SCADA” y “Med. Fotocopia SCADA”, es necesario esperar que se realicen las acciones que fueron solicitadas para el funcionamiento adecuado, si sale algún error se debe repetir la selección.



Figura 20. Construir referencias de SCADA.

The screenshot displays the 'Controles SE' window. At the top, there's a 'Comentario' section with fields for 'Caso', 'Nota', and 'Nota'. To the right, it shows 'Resuelto por Load SCADA ...', 'Est. Solución Working', and 'H. de Solución 27/10/17 14:08:09'. The main area is divided into several panels. The 'Estimador de Estado' panel shows 'Estatus Últ. Solución SE Converged' and 'Hora Solución SE 27/10/17 14:06:55'. Below this, the 'Solución' panel contains various settings like 'Tipo de Sol.' (WLS), 'Solución Ext.' (HYBRID), and 'Arran. Plano' (OFF). The 'Medidas' panel lists parameters such as 'Tolerancia de Datos Incorr. (%)' (3.00) and 'Índice Chi cuadrado/Confianza' (81.48 / 0.95). The 'Interfaz SCADA' panel at the bottom left has a red box around the 'Construir Ref. SCADA' button. Other buttons in this panel include 'Med. Fotocopia SCADA' and 'Fotocopia Solución PF'. The 'Datos Cuestionables' panel on the right shows a list of items with their status and values.

Fuente: SCADA. Editado por autor.

- 3.4.4. Volver al menú principal de OpenNet, y Seleccionar “Controles en Pantalla”. En la nueva ventana se debe seleccionar “Generación de reportes”.

Figura 21. Generación de reportes.

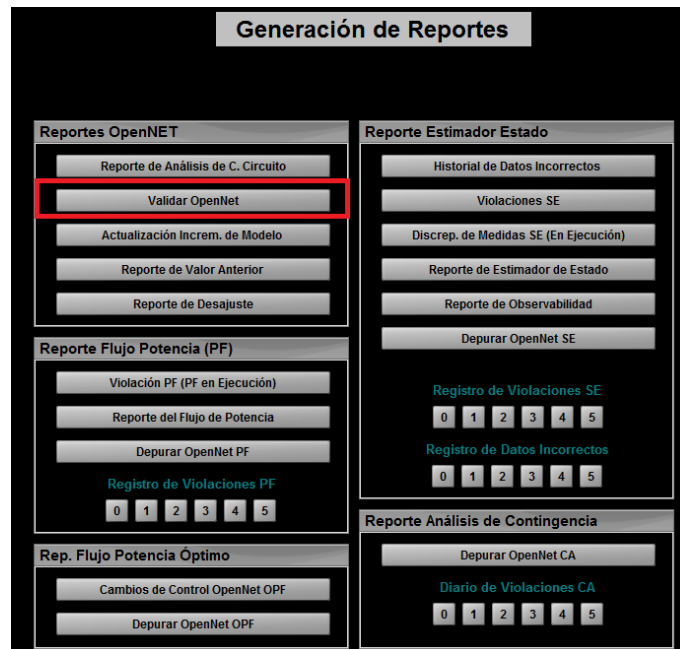
The screenshot shows the 'OpenNet' main menu. At the top, it has the 'OpenNet' logo. Below the logo, there's a 'Caso:' section with fields for 'Caso:', 'Nota:', and 'Nota:'. To the right, it shows 'Resuelto por Load SCADA ...', 'Est. Solución Working', and 'H. de Solución 27/10/17 14:14:11'. The main area is divided into two main sections: 'Controles en Pantalla' and 'Ejecutar'. The 'Controles en Pantalla' section has a red box around the 'Generación de Reportes' button. Other buttons in this section include 'Ajuste de Caso', 'Ajustes de Limite', and 'Importar/Exportar Modelo'. The 'Ejecutar' section contains buttons for 'NTP', 'Estimador de Estado', 'Flujo de Potencia (PF)', and 'Análisis de Contingencia (CA)'. At the bottom, there's a 'Menú OpenNet' dropdown menu.

Fuente: SCADA. Editado por autor.

- 3.4.5. En el menú de “Generación de Reportes”, seleccionar “Validar OpenNet”. Si existen errores al generar reportes, se debe revisar cuales son dichos errores, corregirlos y repetir el procedimiento descrito para validación. Ver Figura 22.

Cuando no existan errores, se pasa a validar el coloreo, Para esto se abre el despliegue de subestaciones.

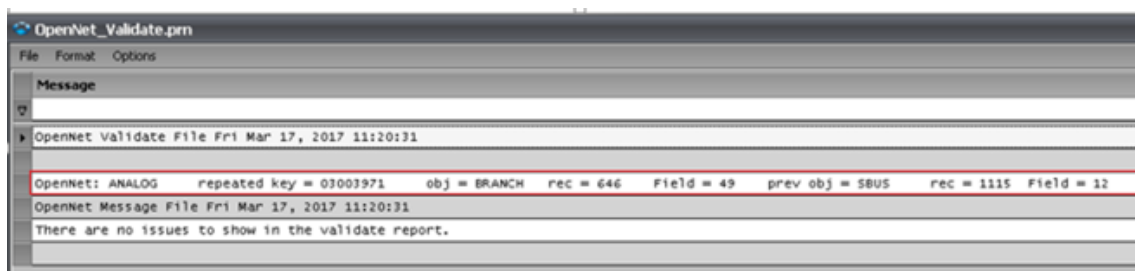
Figura 22. Selección de validar OpenNet.



Fuente: SCADA. Editado por autor.

- Seleccionar “Herramientas”, “Modo de Estudio con modelo de red”. Ver Figura 24.

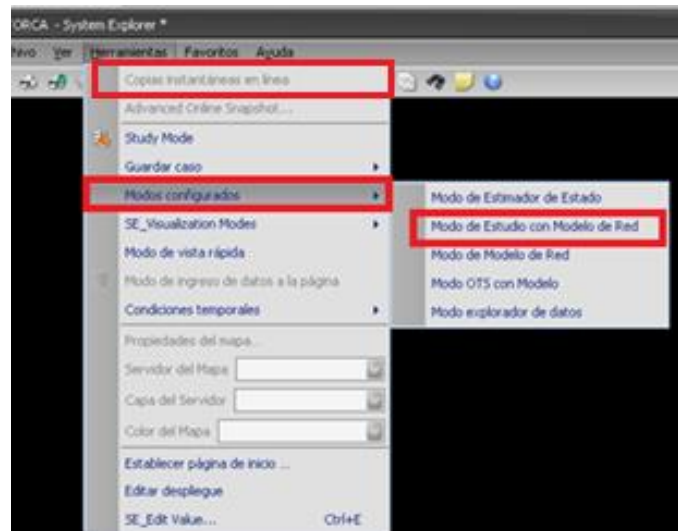
Figura 23. Reportes de Errores.



Fuente: SCADA. Editado por autor.

- Es necesario realizar una copia instantánea en línea, que copia las condiciones actuales del sistema de potencia presente en el SCADA en cuanto al estado de los elementos. Ver Figura 24.

Figura 24. Modelo de red y copia en línea.



Fuente: SCADA. Editado por autor.

Finalmente se empiezan a realizar maniobras de apertura y cierre de interruptores y seccionadores para verificar el correcto coloreo, de presentarse algún inconveniente, revisar de nuevo los nombres de los nodos y si se encuentran activos los elementos, o existe algún error que se pasó por alto en la edición.

### 3.5. REVISIÓN DE SIMULACIONES Y ESTADO DE LA RED

Después de que se actualiza la base de datos de OpenNet, se pasa a ejecutar el estimador de estado y flujo de potencia, visualizando los errores presentados en los reportes entregados por la simulación. Gran cantidad de los errores que existían en las simulaciones se debían a la existencia de barras virtuales innecesarias. Las barras virtuales consideradas innecesarias en el proceso estaban en las subestaciones en configuración anillo e interruptor y medio. La metodología planteada para la eliminación de dichas barras es:

**3.5.1. Identificar las subestaciones que contienen barras virtuales innecesarias .**

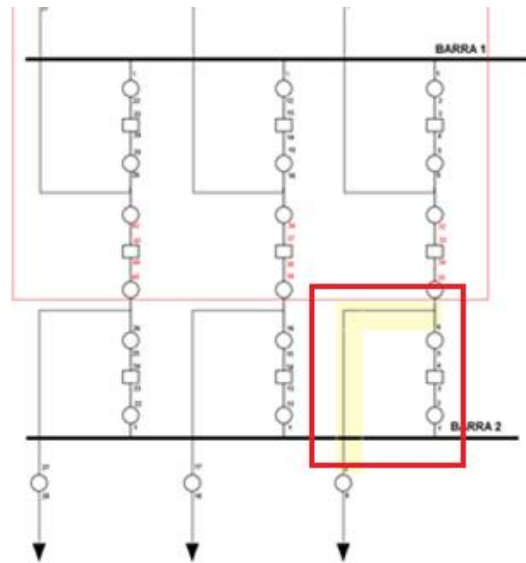
Una barra virtual innecesaria es aquella que existe a pesar de que las barras físicas del sistema no exceden la cantidad de elementos conectados a ellas. Los reportes de errores indican el nombre del elemento que genera el error, con lo cual, se puede verificar la subestación que presenta estos problemas. Se debe buscar en el despliegue grafico la subestación, e identificar el número de elementos que pueden estar conectados a las barras físicas.

**3.5.2. Buscar en la base de datos las barras virtuales a eliminar.** Se busca en el editor de la base de datos en la pestaña “Sbus”, las barras pertenecientes a una subestación que presente el error.

**3.5.3. Copiar el segmento de la base de datos en un libro de Excel.** Se copia la información correspondiente a la subestación en un libro nuevo de Excel, esto con el fin de facilitar la edición de la misma.

**3.5.4. Identificar los “cables” que están modelados como barras y realizar cambios en el archivo de Excel.** En ediciones realizadas en años anteriores, para las subestaciones en configuración interruptor y medio se creaban barras virtuales en lugar de los “cables” que conectan con las bahías de línea; lo mismo sucede con la configuración en anillo, ya que este tipo de subestación no posee barras físicas; cabe aclarar que para el ingreso de elementos del sistema de potencia en OpenNet, es necesario que estos estén relacionados con barras. En la siguiente imagen, se muestra resaltado el cable que anteriormente era como barra virtual, entonces, debe ser abierta la aplicación “*Design Studio*”, seleccionar “Cable”, cambiar su configuración de coloreo del modo que se menciona en el paso 3.3.3.

Figura 25. Cable de bahía de línea.



Fuente: Elaboración propia.

**3.5.5. Cambiar la conexión de elementos que se encontraban modelados, como conectados a las barras eliminadas.** Las barras eliminadas, siempre tienen elementos asociados a ellas (líneas, transformadores, compensadores, interruptores y seccionadores), estos elementos deben pasar a formar parte de las barras físicas que continúan existiendo; para relacionar los elementos basta con editar en la pestaña “Breaker” el número de nodo “desde” y “hasta” al igual que el número de barra “desde” y “hasta”.

**3.5.6. Copiar los cambios efectuados en el libro de Excel, a la base de datos de OpenNet.** Es necesario realizar un copiado por segmentos de información para impedir que el programa presente bloqueos.

*Nota:* Se hace necesaria la validación de OpenNet y del coloreo en modo de estudio con modelo de red después de realizar los cambios en cada subestación. Cuando es corregido el error de barras virtuales mencionado anteriormente, se ejecuta de nuevo el estimador de estado y flujo de potencia, pudiendo así observar que las simulaciones convergen en una cantidad mínima de iteraciones y no arrojan errores de diseño.

Anteriormente no era posible ejecutar el análisis de cortocircuito, este no convergía puesto que los equipos no estaban parametrizados de forma adecuada.

Con las actualizaciones realizadas es posible la ejecución del análisis de cortocircuito, simulando una falla en cierta distancia de una línea. Esta simulación entrega reportes de límites de corrientes excedidas y de los valores de corriente de cortocircuito que son alcanzados en las barras y transformadores próximos a la falla.

### **3.6. COPIA DE LA BASE DE DATOS DE OpenNet A OpenOTS**

OTS es un sistema de entrenamiento que simula la operación de la red de transmisión de INTERCOLOMBIA y TRANSELCA. Este sistema está conformado por tres componentes, los cuales son:

El modelo de red en el cual se tienen cargados los elementos físicos del sistema de potencia, los cuales hacen parte de la base de datos OTSNET, que a su vez es una copia de OpenNET, también se incluyen allí las bases de datos PSS que contienen las protecciones.

El SCADA, que contiene todos los despliegues, con sus códigos o key, que actualiza el estado de los elementos y valores de las medidas, en comunicación bidireccional con el modelo de red.

El Análisis de red OpenNET que lee los estados y valores de SCADA, y ejecuta el procesador de topología de redes.

Para realizar la copia a la base de datos OTSNET, se realiza un requerimiento a las personas de SCADA, y posteriormente se comienzan a configurar generadores, protecciones y casos de estudio.

Cuando se tuvo actualizado el OTS con las configuraciones de OpenNet, se realizó acompañamiento en los reentrenamientos realizados a los operadores del sistema del Centro de supervisión y maniobras.

#### 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al correr el procesador de topología de redes en OpenNet y OpenOTS después de la corrección de la base de datos, se tiene como resultado el mejoramiento de la visualización del Sistema de Potencia en las consolas del Centro de Supervisión y Maniobras (CSM) de INTERCOLOMBIA y del Centro de Control de TRANSELCA; del coloreo dinámico de las subestaciones y demás elementos del sistema ante las maniobras realizadas en tiempo real o en modo de estudio. De igual manera, se obtiene una visibilidad más óptima de la red en los despliegues gráficos después de realizadas las correcciones a las subestaciones en “*Design Studio*”.

Al correr el Estimador de Estado se comprueba que este converge en un promedio de 4 a 8 iteraciones; lo que es posible gracias a los cambios que se efectúan en los parámetros y límites de capacidad de transformadores y líneas, además de la información adicional que se incluye en la base de datos, mientras que, al ejecutar el flujo de potencia, este converge en un rango de 4 a 10 al definir un rango de precisión mayor para los valores por medio de los cálculos efectuados.

Después del ingreso de los parámetros de cortocircuito a las líneas, transformadores, barras y subestaciones es posible la realización del análisis de cortocircuito simulando fallas en determinadas distancias de las líneas o directamente en los barrajes de las subestaciones en OpenNet, el cual entrega posteriormente un reporte con los límites de corrientes de cortocircuito excedidos, las tensiones mínimas en los barrajes que se sobrepasan y la corriente que alcanzan los puntos críticos con dicha falla. El análisis de cortocircuito es una función que posee OpenNet, pero no era utilizada debido a la ausencia de información en la base de datos.

Finalmente, en los entrenamientos realizados en el OTS (Operator Training Simulator), se hacen más eficientes y rápidas las simulaciones, ya que es posible contar con la red más actualizada del momento en cuanto a nuevas subestaciones y coloreo dinámico, lo cual hace que el aprendiz se familiarice con la red que utiliza diariamente en tiempo real.

## 5. CONCLUSIONES

- Se actualizó la base de datos de OpenNet, lo cual permitió la mejora de la visualización del modelo de red del Sistema Interconectado Nacional, el coloreo dinámico en el sistema SCADA Monarch utilizado en el Centro de Supervisión y Maniobras de INTERCOLOMBIA y el Centro de Control de TRANSELCA.
- Se confirmó que la actualización del sistema de potencia en las bases de datos del sistema SCADA Monarch, es un proceso que debe ser continuo, puesto que, varía con el tiempo y depende de factores económicos, sociales, legales, entre otros.
- Se establecieron estándares para nombrar los elementos del sistema de potencia en la base de datos de OpenNet Y OpenOTS, lo cual permite identificar a qué subestación pertenece cada elemento, el nivel de tensión de la subestación, el campo al cual pertenece o con el cual se conecta, entre otros aspectos propios de cada equipo. Dichos estándares se establecen de acuerdo con los nombres que manejan los distintos Operadores del Sistema Interconectado Nacional en las diversas fuentes de datos; además de tener en cuenta la función que cumplen los nombres en el momento de crear simulaciones en el Simulador de Entrenamiento de Operadores (OTS).
- Se definió la metodología para numerar los nodos de cada barraje, de acuerdo con el tipo de subestación (interruptor y medio, barra principal más transferencia, doble barra y anillo) y cantidad de elementos pertenecientes a ella, lo cual permite tener un orden en la base de datos para posteriores modificaciones o ampliaciones de las subestaciones.
- Se establecieron procedimientos para realizar cálculos de parámetros de transformadores y líneas, en la medida en que OpenNet acepta estos valores realizando posteriormente la corrección de dichos datos, definiendo la fuente de información que debe ser consultada para futuras actualizaciones.



- Se realizaron cálculos del límite de corriente máxima de cortocircuito, de parámetros de generadores y límite mínimo de tensión ante fallas, incluyendo esta información en la base de datos de OpenNet, lo cual permite la realización del análisis de cortocircuito con el estado actual del Sistema de Potencia.
- Se realizó revisión de la funcionalidad del Simulador de Entrenamiento de Operadores (OTS), se actualizó la base de datos del modelo de red y se establecieron nuevos casos de estudio y eventos, lo cual permite al “Entrenador” llevar a cabo los procesos de simulación de Operación del Sistema Interconectado Nacional de manera rápida y sencilla; además hace posible la familiarización con la red y el entorno de trabajo para el “Aprendiz”.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Open System International Inc. (2013) *“OpenNet Configuration Guide”, Revisión 2.9 OSI-5555-5008.*
- [2] INTERCOLOMBIA.S.A. E.S.P M (2017) *“Manual De Procedimientos Para Integrar Una Nueva Subestación Al OpenNet”*
- [3] INTERCOLOMBIA S.A. E.S.P. (2012) *“Manual de Operador del Sistema Monarch” Revisión 1.6 OSI- 5555-8014.* Capítulo 11.
- [4] Comisión de Regulación de Energía y Gas. (1995) *“Resolución CREG 025 DE 1995- Criterios Generales”.*
- [5] INTERCOLOMBIA S.A. E.S.P. (2016) *“Revisión De Parámetros De Los Elementos En Base De Datos Monarch (OpenNET)”.*
- [6] INTERCOLOMBIA S.A. E.S.P. (2014) *“Guía General OpenOTS V2”.*

## 7. ANEXOS

### 7.1. EJEMPLOS

#### 7.1.1. NOMBRAR BARRAS

Barra 1 de Esmeralda 230: **ESME230Barra1.**

Barra 2 de San Carlos 500: **SCAR500Barra2.**

#### 7.1.2. CREACIÓN DE BARRA VIRTUAL

Para una subestación con 10 o más diámetros al enumerar sus nodos, teniendo en cuenta que contiene cortes centrales se excederá el número de los mismos para la barra 1.

Para este caso se debe crear una barra virtual, la cual es una extensión de la barra 1.

Se puede comenzar a enumerar los nodos de derecha a izquierda; siendo los que están encerrados en el recuadro naranja, los elementos pertenecientes a la barra 1.

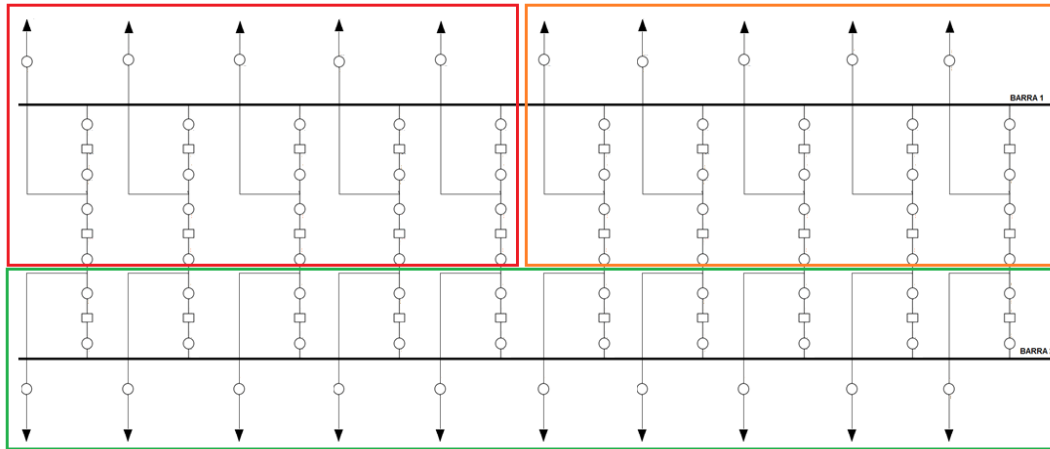
Los elementos pertenecientes a las bahías de líneas del recuadro naranja (barra 1), se enumeran a partir del 1 hasta el 48 y Los cortes centrales de dicho recuadro se nombrarán a partir del 52.

En el recuadro rojo se encierran los elementos que pertenecerán a la barra virtual 1, sus nodos se comenzarán a enumerar de la misma manera que los elementos de la barra 1.

Para unir estas dos barras en la base de datos, se hace necesaria la creación de un cable que conecta el nodo 1 de la barra 1 con el nodo 1 de la barra virtual 1.

Los elementos encerrados en el recuadro verde, son los pertenecientes a la barra 2, se puede observar que no es necesario crear otra barra virtual ya que se pueden enumerar los nodos del 1 hasta el 98.

*Figura Anexo 1. Creación de barra virtual.*



Fuente: Elaboración propia.

### 7.1.3. NOMBRAR ELEMENTOS

Para los equipos de Sabanalarga220 que conectan con la bahía de línea TEBSA3,

#### Seccionadores:

**SABA220TEBS38724**

**SABA220TEBS38722**

**SABA220TEBS38211**

#### Interruptor:

**SABA220TEBS38720**

#### Cables:

**SABA220TEBS3Cable1**

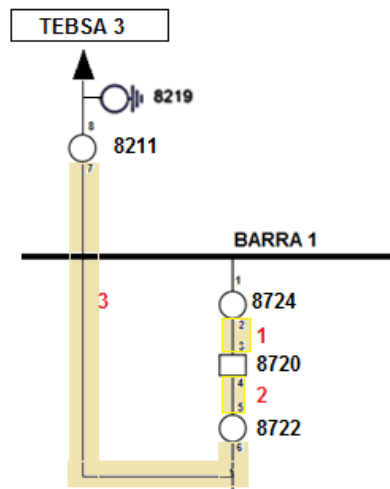
**SABA220TEBS3Cable2**

**SABA220TEBS3Cable3**

#### Tierra:

**G\_ SABA220TEBS38211**

*Figura Anexo 2. Nombrar elementos.*



Fuente: Elaboración propia.

#### **7.1.4. NOMBRE ELEMENTOS DEL CORTE CENTRAL**

En la subestación San Carlos 230

**Seccionadores:**

**SCAR230D12M014**

**SCAR230D12M015**

**SCAR230D22M024**

**SCAR230D22M025**

**SCAR230D32M034**

**SCAR230D32M035**

**Interruptores:**

**SCAR230D12M010**

**SCAR230D22M020**

**SCAR230D32M030**

**Cables:**

**SCAR230D1Cable 1**

**SCAR230D1Cable 2**

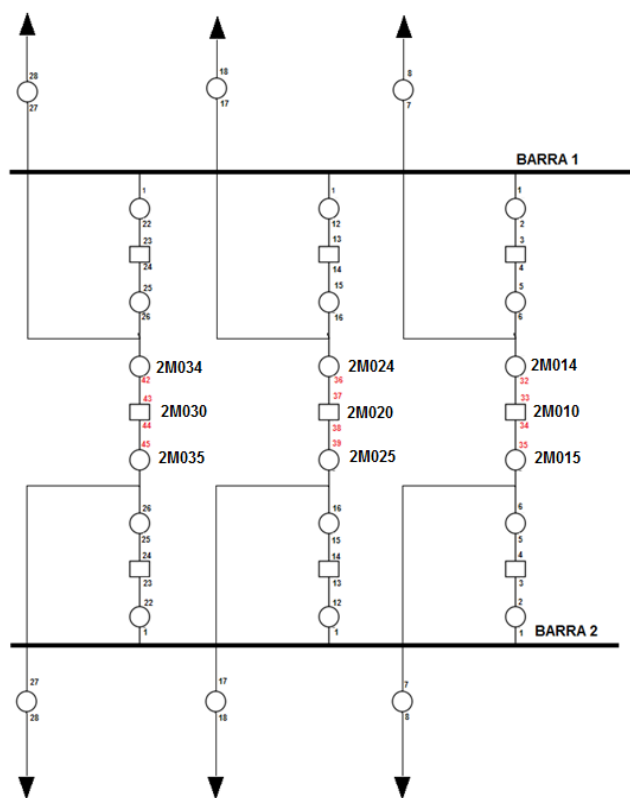
**SCAR230D2Cable 1**

**SCAR230D2Cable 2**

**SCAR230D3Cable 1**

**SCAR230D3Cable 2**

*Figura Anexo 3. Nombrar corte central.*

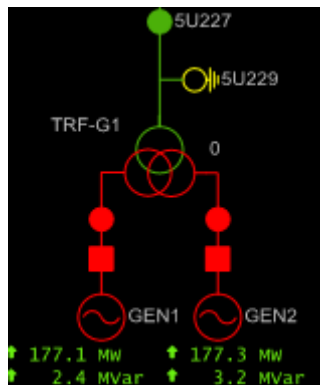


Fuente: Elaboración propia.

### 7.1.5. NOMBRAR GENERADORES

Para los generadores 1 y 2 de PORCE 3

*Figura Anexo 4. Generadores.*



Fuente: SCADA.

La forma de nombrar estos dos generadores es la siguiente:

**PORC313.8GEN1**

**PORC313.8GEN2**

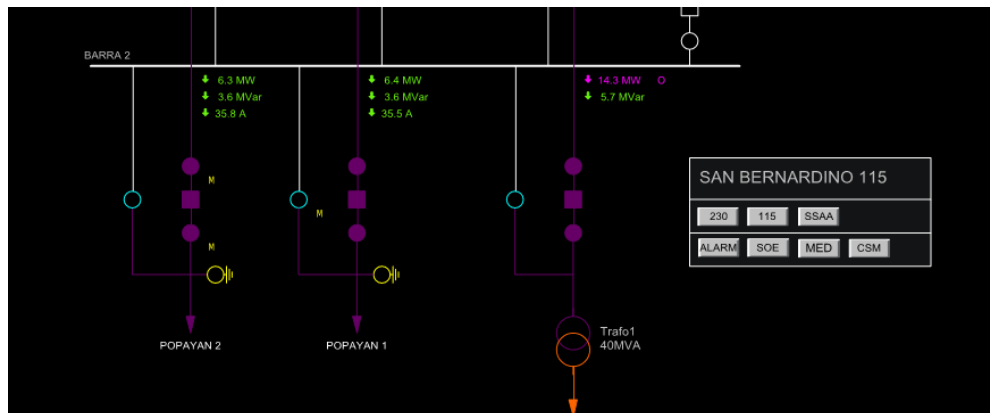
#### **7.1.6. NOMBRAR CARGAS**

En San Bernardino115 de tienen varias cargas, una de ellas es popayan2.

El nombre de dicha carga se ingresa como:

**SBER115POPA2.**

*Figura Anexo 5. Cargas.*



Fuente: SCADA.

### 7.1.7. NOMBRAR LOS SHUNTS

Para el reactor 1 de Chinú, situado en la bahía de línea Cerromatoso 500 kV.

*Figura Anexo 6. Reactores.*



Fuente: SCADA.

Nombre: **CHIN500Rea1CERR**

### 7.1.8. CALCULO PARÁMETROS DE LÍNEAS

#### 7.1.8.1. X y R

Línea Esmeralda- La Hermosa.

- Nivel de tensión: 230 kV



- Longitud de la línea de transmisión: 21.84 Km
- Resistencia: 0.0525 ohm sobre kilómetro.
- Reactancia: 0.4729 siemens sobre kilómetro.
- Potencia base: 100 MVA.

Se aplican las ecuaciones:

$$Z_{BASE} = \frac{230^2}{100} \quad R_{PU} = \frac{0.0525 * 21.84}{529} \quad X_{PU} = \frac{0.4729 * 21.84}{529}$$

$$Z_{BASE} = 529 \quad R_{PU} = 0.002167 \quad X_{PU} = 0.019523887$$

Estos datos se ingresan en las celdas x y r de la fila correspondiente a la línea.

#### 7.1.8.2.S (SUSCEPTANCIA)

Para la línea Jamondino- Mocoa230.

Datos de entrada:

- $T_{NOM}$ : 230 kV
- $S_{base}$ : 100 MVA
- $B^*$ :  $3.5 \frac{\mu S}{Km}$ .
- $L$ : 75.16 km.

Aplicando la primera ecuación para encontrar la  $Y_{BASE}$

$$Y_{BASE} = \frac{100}{(230)^2} \quad B[p.u] = \frac{3.5 * 10^{-6} * 75.16}{0.001890359 * 2}$$

$$Y_{BASE} = 0.001890359 \quad B[p.u] = 0.06957937.$$

$B$ , ahora es digitado en las casillas correspondientes de S FROM Y S TO.

## 7.1.9. CALCULO PARÁMETROS TRANSFORMADORES

### 7.1.9.1. TRANSFORMADOR BIDEVANADO

Transformador de generación Guavio 230 kV.

- Es un transformador bidevanado.
- Tensiones de placa: 230 kV/ 13,2 kV
- Tensiones del sistema: 230 kV/ 13,2 kV.
- Impedancia HL: 13.53 %
- Capacidad de alta y baja: 270 MVA.

Empleamos la ecuación

$$Z_{HL} = \left( \frac{Z_{HL} * S_{BN}}{S_{BV}} \right) * \frac{1}{2} * \left[ \left( \frac{V_{PH}}{V_{SH}} \right)^2 + \left( \frac{V_{PL}}{V_{SL}} \right)^2 \right]$$
$$Z_{HL} = \left( \frac{0.1353 * 100}{270} \right) * \frac{1}{2} * \left[ \left( \frac{230}{230} \right)^2 + \left( \frac{13.2}{13.2} \right)^2 \right]$$
$$Z_{HL} = 0.05011111$$

Ya que la resistencia en un transformador es despreciable,  $Z_{HL} = X = 0.05011111$

### 7.1.9.2. TRANSFORMADOR TRIDEVANADO

Transformador de generación 1 de PORCE 3.

- Es un transformador tridevanado
- Tensiones de placa: 500 kV / 13,8 kV / 13,8 kV
- Tensiones del sistema: 500 kV / 13,8 kV / 13,8 kV
- Impedancia HM: 30 %
- Impedancia HL: 30 %
- Impedancia ML: 14.88 %
- Capacidad: 435 MVA / 72.5 MVA / 72.5 MVA

Utilizando las ecuaciones para el cambio de base:

$$Z_{HM} = \left( \frac{Z_{HM} * S_{BN}}{S_{BV}} \right) * \frac{1}{2} * \left[ \left( \frac{V_{PH}}{V_{SH}} \right)^2 + \left( \frac{V_{PM}}{V_{SM}} \right)^2 \right]$$

$$Z_{HM} = \left( \frac{0.3 * 100}{435} \right) * \frac{1}{2} * \left[ \left( \frac{500}{500} \right)^2 + \left( \frac{13.8}{13.8} \right)^2 \right]$$

$$Z_{HM} = 0.068965517$$

$$Z_{HL} = \left( \frac{Z_{HL}^* * S_{BN}}{S_{BV}} \right) * \frac{1}{2} * \left[ \left( \frac{V_{PH}}{V_{SH}} \right)^2 + \left( \frac{V_{PL}}{V_{SL}} \right)^2 \right]$$

$$Z_{HL} = \left( \frac{0.3 * 100}{435} \right) * \frac{1}{2} * \left[ \left( \frac{500}{500} \right)^2 + \left( \frac{13.8}{13.8} \right)^2 \right]$$

$$Z_{HL} = 0.06896552$$

$$Z_{ML} = \left( \frac{Z_{ML}^* * S_{BN}}{S_{BV}} \right) * \frac{1}{2} * \left[ \left( \frac{V_{PM}}{V_{SM}} \right)^2 + \left( \frac{V_{PL}}{V_{SL}} \right)^2 \right]$$

$$Z_{ML} = \left( \frac{0.1488 * 100}{435} \right) * \frac{1}{2} * \left[ \left( \frac{13.8}{13.8} \right)^2 + \left( \frac{13.8}{13.8} \right)^2 \right]$$

$$Z_{ML} = 0.034206897$$

Ahora se utilizan las ecuaciones para hallar la impedancia en el lado de alta, media y baja:

$$\checkmark \quad Z_H = \frac{1}{2} * (0.068965517 + 0.06896552 - 0.034206897)$$

$$Z_H = 0.01710345$$

$$\checkmark \quad Z_M = \frac{1}{2} * (0.068965517 + 0.034206897 - 0.06896552)$$

$$Z_M = 0.051862069$$

$$\checkmark \quad Z_L = \frac{1}{2} * (0.06896552 + 0.034206897 - 0.068965517)$$

$$Z_L = 0.017103448$$

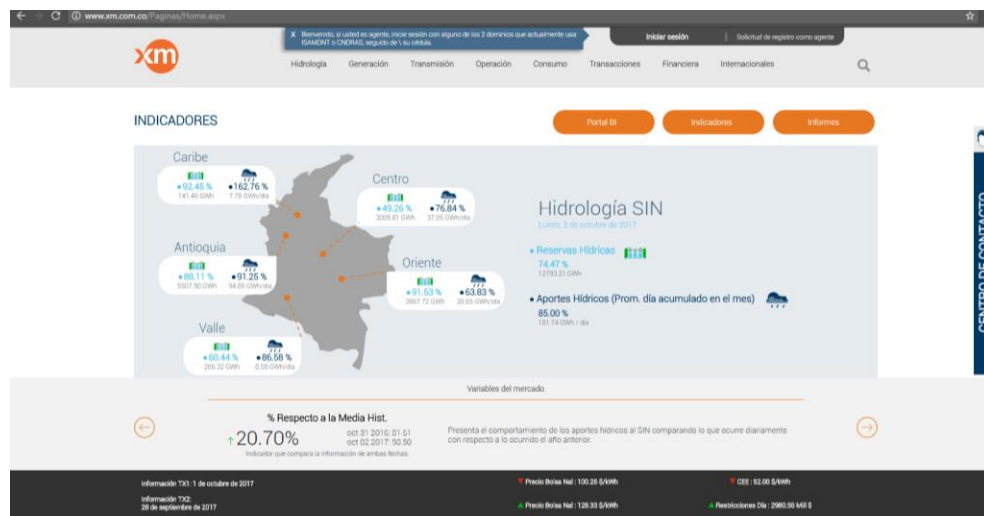
Cada una de estas impedancias encontradas debe ser reemplazada en la celda X de cada representación del transformador.

## 7.2. COMO INGRESAR A LA BASE DE DATOS DE PARATEC

Para acceder a dicha base de datos se siguen los siguientes pasos:

- Ingresar a la página de XM ([www.xm.com.co](http://www.xm.com.co)).

*Figura Anexo 7. Página principal de XM.*



Fuente: Plataforma XM.

- Inicie sesión con su dominio ISAMDNT.
- Cuando haya iniciado sesión, en la parte inferior de la página aparece la opción PARATEC; ingresa a este enlace y selecciona la opción que requiera.

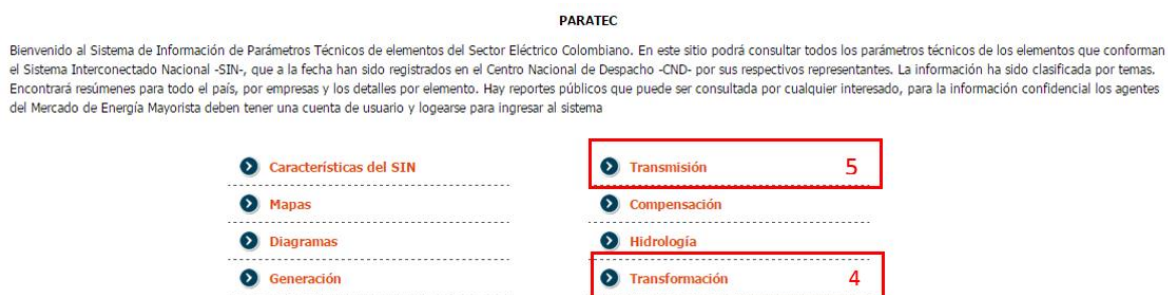
*Figura Anexo 8. Enlace PARATEC.*



Fuente: Plataforma XM.

- Para la base de datos de transformadores hacer clic en Transformación.
- Para los parámetros de las líneas hacer clic en Transmisión.

*Figura Anexo 9. Opciones ver tablas.*



Fuente: Plataforma XM. Editado por autor.

- Cuando se seleccionan estos, se abre un despliegue de opciones dentro de las cuales se debe seleccionar:
  - a. Detalle de transformadores
  - b. Detalle de líneas

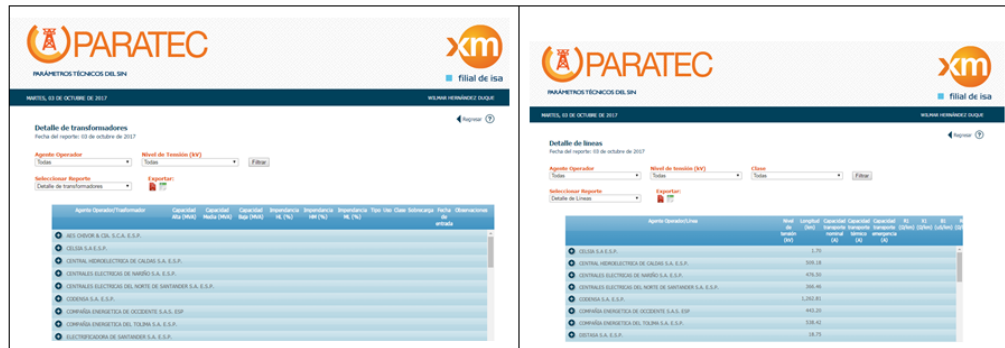
Figura Anexo 10. Ver detalles de líneas y transformadores.



Fuente: Plataforma XM. Editado por autor.

8. Se ingresan los datos que se desea consultar y se exporta como un archivo de Excel.

Figura Anexo 11. Exportar detalles de transformadores y líneas.



Fuente: Plataforma XM. Editado por autor.

### 7.3. VISUALIZAR MEDIDAS DE POTENCIAS MW Y MVAR

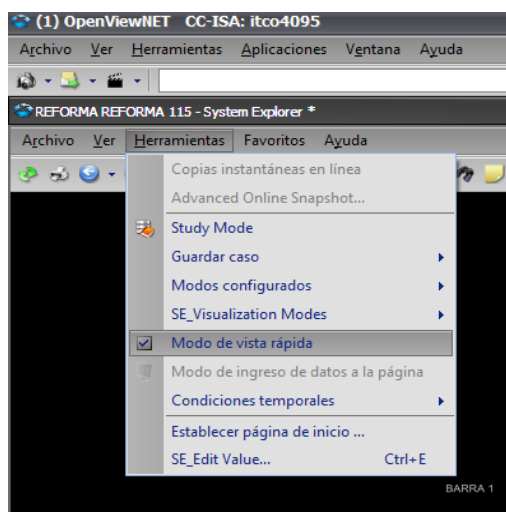
Para obtener una medida real y tener un valor lógico de empezar las iteraciones, puesto que en ocasiones pueden estar en cero estas medidas, se debe buscar en el histórico de mediciones.

- Abrimos el diagrama unifilar de la subestación que se está modificando.
- Vamos a la barra de herramientas y seleccionamos modo de vista rápida.

Otra forma más corta es utilizar el comando CTRL+Q.

Esto nos permitirá visualizar el “SCADA key” de los elementos (interruptores, seccionadores, puesta a tierra y medidas), al situar el cursor sobre cada uno de ellos.

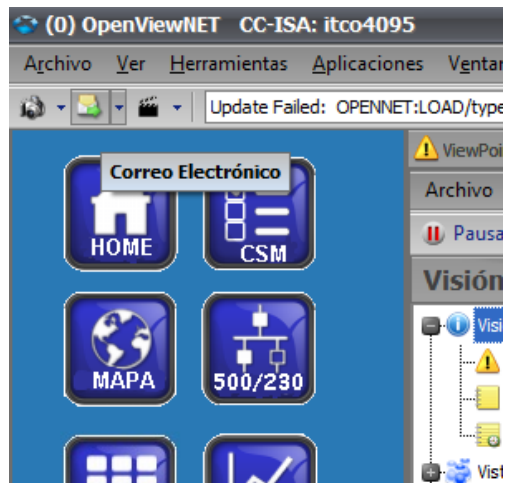
*Figura Anexo 12. Modo de vista rápida.*



Fuente: SCADA

Después de tener el “SCADA key” se procede a buscar la medida en tiempo real, se puede acceder desde home o dar clic en “APLICACIONES”- “Tabular Viewer”.

*Figura Anexo 13. Menú de inicio.*



Fuente: SCADA.

*Figura Anexo 14. Menú principal Monarch.*



Fuente: SCADA.

- Se abre “Aplicaciones SCADA”.



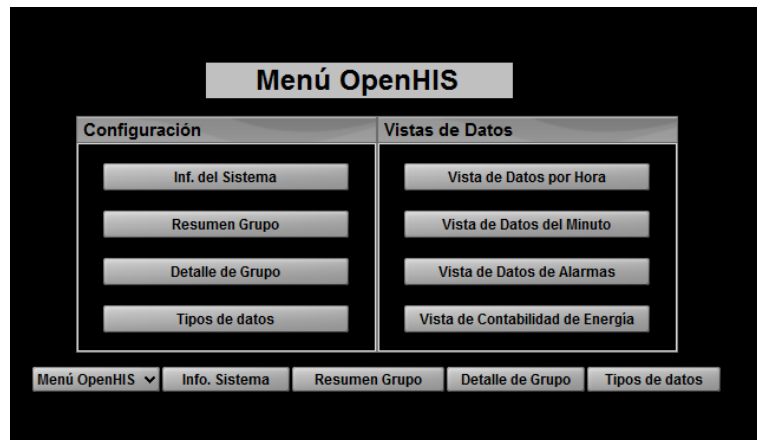
*Figura Anexo 15. Menú de aplicaciones SCADA.*



Fuente: SCADA.

- Dar Clic en “OpenHIS”.

*Figura Anexo 16. Menú de OpenHIS.*



Fuente: SCADA.

- Se puede seleccionar Vista de datos por hora, o Vista de datos por minuto.

- En el espacio que dice “SCADA key” se introduce el número que se visualizó anteriormente.
- Podemos elegir un tipo de dato promedio de una fecha específica.

*Figura Anexo 17. Elección de promedio.*



Fuente: SCADA.

- Dar clic en usar fecha específica, y debe aparecer todas las horas del día especificado con el promedio de las medidas.
- Se elige uno de estos valores y se digita en MW o MVar PROGRAMADO.

Figura Anexo 18. Visualización de datos de medidas.

Vista de Hora			
Resultados por Hora			
No.	Fecha/Hora	Valor	Calidad
1	11090046	SNFRAN1 G240 IN...	CAMBIO ...
2	01007188	SAB2BAR2 79 B...	RETORN...
3	11090046	SNFRAN1 G240 IN...	CAMBIO ...
4	01007H70	SAB2BAR2 L230 F...	RETORN...
5	01007L72	CERROI2 RDF AR...	RETORN...
6	01007L72	CERROI2 RDF AR...	CAMBIO ...
7	01007H70	SAB2BAR2 L230 F...	CAMBIO ...
8	01007H63	SAB2BAR2 5L230 ...	CAMBIO ...
9	01007H62	SAB2BAR2 5L230 ...	CAMBIO ...
10	01007H61	SAB2BAR2 5L230 ...	CAMBIO ...
11	11090019	ACP1BAR1 B200 L...	CAMBIO ...
12	02007055	SAB2BAR2 L230 L...	CAMBIO ...
13	02007055	SAB2BAR2 L230 L...	CONTRO...
14	02007055	SAB2BAR2 L230 L...	itco4130...
15	22444002	ESTADO RTU	CAMBIO ...
16	01007F15	SABAN1 79 BLO...	RETORN...
17	22444002	ESTADO RTU	OPERACL...
18	03007560	BARRA2 5B-2 V...	RETORN...
19	01007L76	ATRAE01 RDF AR...	RETORN...

Ejcutar consulta

Usar Fecha de Hoy Usar fecha especifica

Especificar fecha

Fecha (aaaa-mm-... 2017-10-15

Tipo de dato: 4: AVERAGE

SCADA Key: 13564016

Información del Punto

Subestación: 90

Nombre del... 2017-10-15 17:59 0

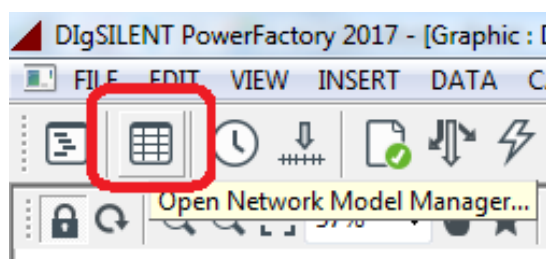
Fuente: SCADA.

#### 7.4. BUSCAR LOS DATOS DE LOS GENERADORES EN DigSILENT

Para adquirir los datos desde la base de datos del DigSILENT es necesario ingresar al archivo más actualizado en el momento del SIN.

- Click en Open Network Model Manager

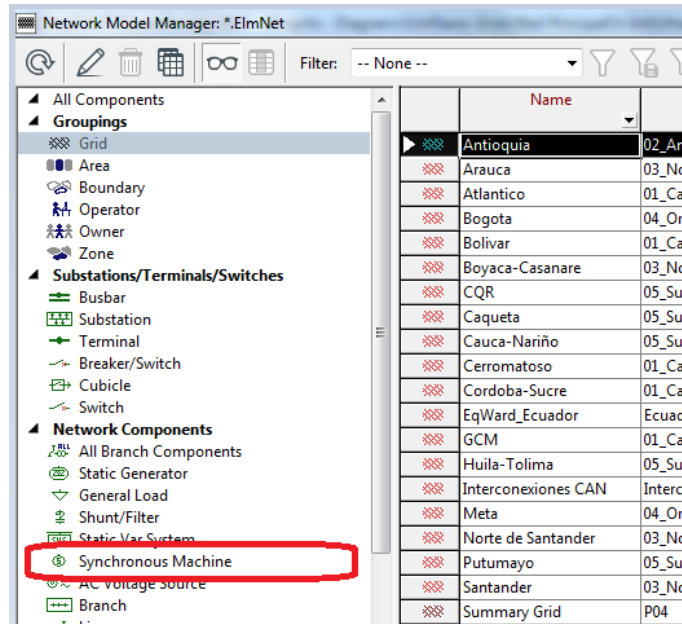
Figura Anexo 19. Archivo SIN.



Fuente: DigSILENT PowerFactory 2017. Editado por autor.

- Aparecerá un desplegue donde seleccionaremos SYNCHRONUS MACHINE.

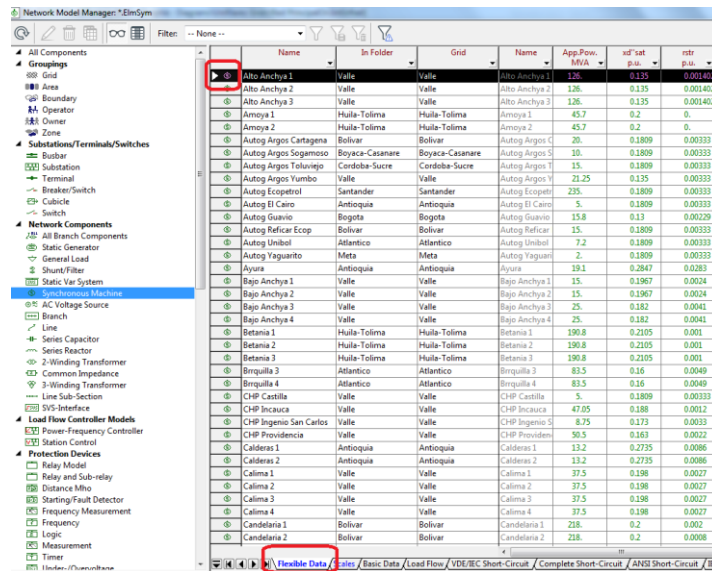
Figura Anexo 20. Selección del generador.



Fuente: DigSILENT PowerFactory 2017. Editado por autor.

- En la parte inferior encontraremos diferentes pestañas, de las cuales seleccionaremos flexible data.

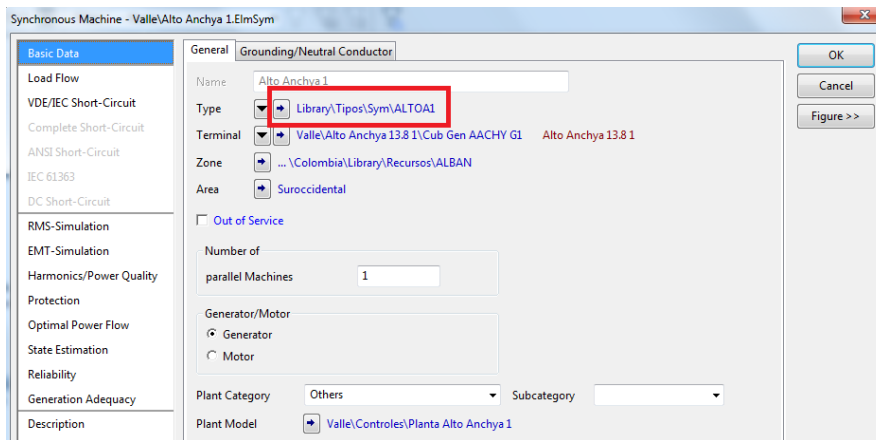
Figura Anexo 21. Selección de flexible data.



Fuente: DigSILENT PowerFactory 2017. Editado por autor.

- Se selecciona cualquiera de los generadores que aparecen en la lista.

*Figura Anexo 22. Selección de librería.*



Fuente: DigSILENT PowerFactory 2017. Editado por autor.

Aparece una ventana de la cual se selecciona el botón que se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

De allí aparecerá una nueva ventana, en la cual se seleccionara la opción VDE/IEC Short-Circuit.

Los valores que necesitaremos son: Subtransient Reactance (saturated value  $x_d'_{sat}$ ) en [p.u] y Stator resistance ( $r_{str}$  en [p.u]). Estos valores son utilizados ya que la reactancia subtransitoria de saturación considera la saturación del núcleo y permite un cálculo más cercano a la realidad al momento de realizar el análisis de cortocircuito.

Nos situamos sobre cada uno de los valores solicitados y aparecen los códigos con los cuales pueden ser buscados cada uno de los datos para todos los generadores.

*Figura Anexo 23. Códigos de parámetros.*

Synchronous Machine Type - Library\Tipos\Sym\ALTOA1.TypSym

Basic Data

Load Flow

VDE/IEC Short-Circuit

Complete Short-Circuit

ANSI Short-Circuit

IEC 61363

DC Short-Circuit

RMS-Simulation

EMT-Simulation

Harmonics/Power Quality

Protection

Optimal Power Flow

Reliability

Subtransient Reactance

saturated value  $x_d''_{sat}$  0.135 p.u.

Parameter:  $x_{dsss}$

Stator Resistance

$r_{str}$  0.001402 p.u.

Parameter:  $r_{str}$

Zero Sequence Data

Reactance  $x_0$  0.08 p.u.

Resistance  $r_0$  0. p.u.

Negative Sequence Data

Reactance  $x_2$  0.21 p.u.

Resistance  $r_2$  0. p.u.

Steady-State Shc. Current

☐ Ik instead of Reactances

For single fed short-circuit

Reciprocal of short-circuit ratio ( $x_{dsat}$ ) 1.06 p.u.

Machine Type IEC909/IEC60909

Salient Pole Series 1

Fuente: DigSILENT PowerFactory 2017. Editado por autor.

- Se cierran todas estas ventanas.
- Volver la página principal y seleccionar la figura de “variable selection”.
- Seleccionar la pestaña editor.
- Borrar los elementos que están en la pantalla y escribir:

loc\_name

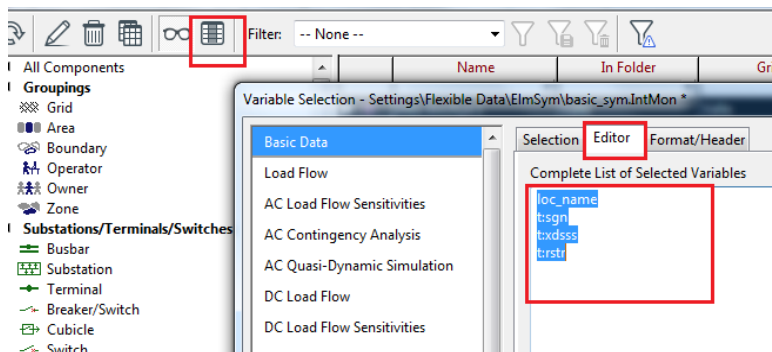
t:sgn

t:xdsss

t:rstr

- Dar click en OK.

Figura Anexo 24. Editor de búsqueda.



Fuente: DigSILENT PowerFactory 2017. Editado por autor.

- En la tabla aparecerá el listado de los generadores con cada uno de los parámetros seleccionados.
- Seleccionar los elementos requeridos
- Clic derecho
- Click en Spread Sheet Format.
- Clic en “Copy with Colum headers”, para que al momento de copiarlo al archive de Excel, lo haga conservando los títulos de las columnas.

Figura Anexo 25. Copiar la tabla a un archivo Excel.

	Name	In Folder	Grid	Name	App.Pow. MVA	xd'sat p.u.	rstr p.u.	
San Carlos 8	Antioquia	Antioquia	San Carlos 8	173.	0.261	0.0046		
San Fcisco 1	CQR	CQR	San Fcisco 1	53.	0.3084	0.0629		
San Fcisco 2	CQR	CQR	San Fcisco 2	53.5	0.3084	0.0629		
San Fcisco 3	CQR	CQR	San Fcisco 3	53.	0.3084	0.		
San Miguel U1	Antioquia	Antioquia	San Miguel U1	30.	0.2	0.00662		
San Miguel U2	Antioquia	Antioquia	San Miguel U2	30.	0.2	0.00662		
Sierra Gas 1	Antioquia	Antioquia	Sierra Gas 1	211.765	0.2	0.003		
Sierra Gas 2	Antioquia	Antioquia	Sierra Gas 2	211.765	0.2	0.003		
Sierra Vapor	Antioquia	Antioquia	Sierra Vapor	231.	0.2	0.003		
Sogamoso 1	Santander	Santander	Sogamoso 1	324.	0.2	0.		
Sogamoso 2	Santander	Santander	Sogamoso 2	324.	0.2	0.		
Sogamoso 3	Santander	Santander	Sogamoso 3	324.	0.2	0.		
TValle Gas	Valle	Valle	TValle Gas	212.	0.211	0.0055		
TValle Vapor	Valle	Valle	TValle Vapor	91.165	0.1067	0.00143		
Tasajero	Norte de Santander	Norte de Santander	Tasajero	204.4	0.2	0.		
Tasajero II	Norte de Santander	Norte de Santander	Tasajero II	231.	0.1485	0.000554		
Tebasa Gas 110 1	Atlantico	Atlantico	Tebasa Gas 110	140.	0.2	0.		
Tebasa Gas 110 2	Atlantico	Atlantico	Tebasa Gas 110	140.	0.2	0.		
Tebasa Gas 220 1	Atlantico	Atlantico	Tebasa Gas 220	140.	0.2	0.		
Tebasa Gas 220 2	Atlantico	Atlantico	Tebasa Gas 220	140.	0.2	0.		
Tebasa Gas 220 3	Atlantico	Atlantico	Tebasa Gas 220	140.	0.2	0.		
Tebasa Vapor 1	Atlantico	Atlantico	Tebasa Vapor 1	194.9	0.2	0.		
Tebasa Vapor 2	Atlantico	Atlantico	Tebasa Vapor 2	194.9	0.2	0.		
Tequendama	Bogota	Bogota	Tequendama	23.	0.2	0.		
Termomechero 4	2017-11-xx Gen Term	Boyaca-Casanare	Termomechero	23.352	0.1	0.0033		
Termomechero 5	2017-11-xx Gen Term	Boyaca-Casanare	Termomechero	23.352	0.1	0.0033		
Termomechero 6	2017-11-xx Gen Term	Boyaca-Casanare	Termomechero	23.352	0.1	0.0033		
Tromeras 1	Antioquia	Antioquia	Tromeras 1	21.2	0.2	0.		
Tromeras 2	Antioquia	Antioquia	Tromeras 2	21.2	0.2	0.		
Urra 1	Cordoba-Sucre	Cordoba-Sucre	Urra 1	92.7	0.18	0.0033		
Urra 2	Cordoba-Sucre	Cordoba-Sucre	Urra 2	92.7	0.18	0.0033		
Urra 3	Cordoba-Sucre	Cordoba-Sucre	Urra 3	92.7	0.18	0.0033		
Urra 4	Cordoba-Sucre	Cordoba-Sucre	Urra 4	92.7	0.18	0.0033		

Copy

Modify Value(s)...

Select Row

Select Column

Spread Sheet Format

Copy (with column headers)

Write to File

Import Objects from Clipboard

Fuente: DigSILENT PowerFactory 2017. Editado por autor.